HISTOIRE NATURELLE.

MATIÈRES GÉNÉRALES.

TOME SIXIÈME.

HISTOIRE NATURELLE

PAR BUFFON,

DÉDIÉE AU CITOYEN LACEPEDE,
MEMBRE DE L'INSTITUT NATIONAL.

MATIERES GÉNÉRALES.

TOME SIXIEME.





À PARIS,

A LA LIBRAIRIE STÉRÉOTYPE
DE P. DIDOT L'AÎNÉ, GALERIES DU LOUVRE, Nº 3,
ET FIRMIN DIDOT, RUE DE THIONVILLE, Nº 116.

AN VII. — 1799.

HISTOIRE NATURELLE.

SUITE DU SIXIÈME MÉMOIRE.

ARTICLE SECOND.

Réflexions sur le jugement de Descartes au sujet des miroirs d'Archimède, avec le développement de la théorie de ces miroirs, et l'explication de leurs principaux usages.

LA *Dioptrique* de Descartes, cet ouvrage qu'il a donné comme le premier et le principal essai de sa méthode de raisonner dans les sciences, doit être regardée comme un chef-d'œuvre pour son temps : mais les plus belles spéculations sont souvent démenties par l'expérience, et tous les jours les sublimes mathématiques sont obligées de se plier

sous de nouveaux faits; car, dans l'application qu'on en fait aux plus petites parties de la physique, on doit se défier de toutes les circonstances, et ne pas se confier assez aux choses qu'on croit savoir pour prononcer affirmativement sur celles qui sont inconnues. Ce défaut n'est cependant que trop ordinaire, et j'ai cru que je ferois quelque chose d'utile pour ceux qui veulent s'occuper d'optique, que de leur exposer ce qui manquoit à Descartes pour pouvoir donner une théorie de cette science qui fût susceptible d'être réduite en pratique.

Son *Traité de Dioptrique* est divisé en dix discours. Dans le premier, notre philosophe parle de la lumière; et comme il ignoroit son mouvement progressif, qui n'a été découvert que quelque temps après par Roëmer, il faut modifier tout ce qu'il dit à cet égard, et on ne doit adopter aucune des explications qu'il donne au sujet de la nature et de la propagation de la lumière, non plus que les comparaisons et les hypothèses qu'il emploie pour tâcher d'expliquer les causes et les effets de la vision. On sait actuellement que la lumière est environ 7 minutes $\frac{1}{2}$ à venir

du Soleil jusqu'à nous, que cette émission du corps lumineux se renouvelle à chaque instant, et que ce n'est pas par la pression continue et par l'action ou plutôt l'ébranlement instantané d'une matière subtile, que ses effets s'opèrent : ainsi toutes les parties de ce traité où l'auteur emploie cette théorie, sont plus que suspectes, et les conséquences ne peuvent être qu'erronées.

Il en est de même de l'explication que Descartes donne de la réfraction; non seulement sa théorie est hypothétique pour la cause, mais la pratique est contraire dans tous les effets. Les mouvemens d'une balle qui traverse l'eau sont très-différens de ceux de la lumière qui traverse le même milieu; et s'il eût comparé ce qui arrive en effet à une balle, avec ce qui arrive à la lumière, il en auroit tiré des conséquences tout-à-fait opposées à celles qu'il a tirées.

Et, pour ne pas omettre une chose très-essentielle, et qui pourroit induire en erreur, il faut bien se garder, en lisant cet article, de croire, avec notre philosophe, que le mouvement rectiligne peut se changer naturellement en un mouvement circulaire:

cette assertion est fausse, et le contraire est démontré depuis que l'on connoît les lois du mouvement.

Comme le second discours roule en grande partie sur cette théorie hypothétique de la réfraction, je me dispenserai de parler en détail des erreurs qui en sont les conséquences; un lecteur averti ne peut manquer de les remarquer.

Dans les troisième, quatrième et cinquième discours, il est question de la vision; et l'explication que Descartes donne au sujet des images qui se forment au fond de l'œil, est assez juste : mais ce qu'il dit sur les couleurs ne peut pas se soutenir ni même s'entendre; car comment concevoir qu'une certaine proportion entre le mouvement rectiligne et un prétendu mouvement circulaire puisse produire des couleurs? Cette partie a été, comme l'on sait, traitée à fond et d'une manière démonstrative par Newton; et l'expérience a fait voir l'insuffisance de tous les systêmes précédens.

Je ne dirai rien du sixième discours, où il tâche d'expliquer comment se font nos sensations : quelqu'ingénieuses que soient

ses hypothèses, il est aisé de sentir qu'elles sont gratuites; et comme il n'y a presque rien de mathématique dans cette partie, il est inutile de nous y arrêter.

Dans le septième et le huitième discours, Descartes donne une belle théorie géométrique sur les formes que doivent avoir les verres pour produire les effets qui peuvent servir à la perfection de la vision; et, après avoir examiné ce qui arrive aux rayons qui traversent ces verres de différentes formes, il conclut que les verres elliptiques et hyperboliques sont les meilleurs de tous pour rassembler les rayons; et il finit par donner dans le neuvième discours la manière de construire les lunettes de longue vue, et dans le dixième et dernier discours, celle de tailler les verres.

Cette partie de l'ouvrage de Descartes, qui est proprement la seule partie mathématique de son traité, est plus fondée et beaucoup mieux raisonnée que les précédentes : cependant on n'a point appliqué sa théorie à la pratique; on n'a pas taillé des verres elliptiques ou hyperboliques, et l'on a oublié ces fameuses ovales qui font le principal objet

du second livre de sa *Géométrie* : la différente réfrangibilité des rayons, qui étoit inconnue à Descartes, n'a pas été découverte, que cette théorie géométrique a été abandonnée. Il est en effet démontré qu'il n'y a pas autant à gagner par le choix de ces formes qu'il y a à perdre par la différente réfrangibilité des rayons, puisque, selon leur différent degré de réfrangibilité, ils se rassemblent plus ou moins près; mais comme l'on est parvenu à faire des lunettes achromatiques, dans lesquelles on compense la différente réfrangibilité des rayons par des verres de différente densité, il seroit très-utile aujourd'hui de tailler des verres hyberboliques ou elliptiques, si l'on veut donner aux lunettes achromatiques toute la perfection dont elles sont susceptibles.

Après ce que je viens d'exposer, il me semble que l'on ne devroit pas être surpris que Descartes eût mal prononcé au sujet des miroirs d'Archimède, puisqu'il ignoroit un si grand nombre de choses qu'on a découvertes depuis : mais, comme c'est ici le point particulier que je veux examiner, il faut rapporter ce qu'il en a dit, afin qu'on soit plus en état d'en juger.

« Vous pouvez aussi remarquer, par occa-
« sion, que les rayons du Soleil ramassés
« par le verre elliptique, doivent brûler avec
« plus de force qu'étant rassemblés par l'hy-
« perbolique : car il ne faut pas seulement
« prendre garde aux rayons qui viennent du
« centre du Soleil, mais aussi à tous les autres
« qui, venant des autres points de la super-
« ficie, n'ont pas sensiblement moins de
« force que ceux du centre; en sorte que la
« violence de la chaleur qu'ils peuvent cau-
« ser, se doit mesurer par la grandeur du
« corps qui les assemble, comparée avec celle
« de l'espace où il les assemble..... sans que
« la grandeur du diamètre de ce corps y
« puisse rien ajouter, ni sa figure particu-
« lière, qu'environ un quart ou un tiers
« tout au plus. Il est certain que cette ligne
« brûlante à l'infini, que quelques uns ont
« imaginée, n'est qu'une rêverie. »

Jusqu'ici il n'est question que de verres brûlans par réfraction : mais ce raisonnement doit s'appliquer de même aux miroirs par réflexion; et avant que de faire voir que l'auteur n'a pas tiré de cette théorie les conséquences qu'il devoit en tirer, il est bon

de lui répondre d'abord par l'expérience. Cette ligne brûlante à l'infini, qu'il regarde comme une rêverie, pourroit s'exécuter par des miroirs de réflexion semblables au mien, non pas à une distance infinie, parce que l'homme ne peut rien faire d'infini, mais à une distance indéfinie assez considérable : car supposons que mon miroir, au lieu d'être composé de deux cent vingt-quatre petites glaces, fût composé de deux mille, ce qui est possible, il n'en faut que vingt pour brûler à vingt pieds; et le foyer étant comme une colonne de lumière, ces vingt glaces brûlent en même temps à dix-sept et à vingt-trois pieds : avec vingt-cinq autres glaces, je ferai un foyer qui brûlera depuis vingt-trois jusqu'à trente; avec vingt-neuf glaces, un foyer qui brûlera depuis trente jusqu'à quarante; avec trente-quatre glaces, un foyer qui brûlera depuis quarante jusqu'à cinquante-deux; avec quarante glaces, depuis cinquante-deux jusqu'à soixante-quatre; avec cinquante glaces, depuis soixante-quatre jusqu'à soixante-seize; avec soixante glaces, depuis soixante-seize jusqu'à quatre-vingt-huit; avec soixante-dix glaces, depuis

quatre-vingt-huit jusqu'à cent pieds. Voilà donc déja une ligne brûlante, depuis dix-sept jusqu'à cent pieds, où je n'aurai employé que trois cent vingt-huit glaces; et, pour la continuer, il n'y a qu'à faire d'abord un foyer de quatre-vingts glaces, il brûlera depuis cent pieds jusqu'à cent seize; et quatre-vingt-douze glaces, depuis cent seize jusqu'à cent trente-quatre pieds; et cent huit glaces, depuis cent trente-quatre jusqu'à cent cinquante; et cent vingt-quatre glaces, depuis cent cinquante jusqu'à cent soixante-dix; et cent cinquante-quatre glaces, depuis cent soixante-dix jusqu'à deux cents pieds. Ainsi voilà ma ligne brûlante prolongée de cent pieds, en sorte que depuis dix-sept pieds jusqu'à deux cents pieds, en quelque endroit de cette distance qu'on puisse mettre un corps combustible, il sera brûlé; et, pour cela, il ne faut en tout que huit cent quatre-vingt-six glaces de six pouces; et en employant le reste des deux mille glaces, je prolongerai de même la ligne brûlante jusqu'à trois et quatre cents pieds; et avec un plus grand nombre de glaces, par exemple, avec quatre mille, je la prolon-

gerai beaucoup plus loin, à une distance indéfinie. Or tout ce qui, dans la pratique, est indéfini, peut être regardé comme infini dans la théorie; donc notre célèbre philosophe a eu tort de dire que cette ligne brûlante à l'infini n'étoit qu'une rêverie.

Maintenant venons à la théorie. Rien n'est plus vrai que ce que dit ici Descartes au sujet de la réunion des rayons du Soleil, qui ne se fait pas dans un point, mais dans un espace ou foyer dont le diamètre augmente à proportion de la distance : mais ce grand philosophe n'a pas senti l'étendue de ce principe, qu'il ne donne que comme une remarque; car, s'il y eût fait attention, il n'auroit pas considéré, dans tout le reste de son ouvrage, les rayons du Soleil comme parallèles; il n'auroit pas établi comme le fondement de la théorie de sa construction des lunettes, la réunion des rayons dans un point, et il se seroit bien gardé de dire affirmativement * : *Nous pourrons, par cette invention, voir des objets aussi particuliers et aussi petits dans les astres, que ceux que nous voyons communément sur la Terre.* Cette

* Page 131.

assertion ne pouvoit être vraie qu'en supposant le parallélisme des rayons, et leur réunion en un seul point; et par conséquent elle est opposée à sa propre théorie, ou plutôt il n'a pas employé la théorie comme il le falloit : et en effet, s'il n'eût pas perdu de vue cette remarque, il eût supprimé les deux derniers livres de sa *Dioptrique ;* car il auroit vu que, quand même les ouvriers eussent pu tailler les verres comme il l'exigeoit, ces verres n'auroient pas produit les effets qu'il leur a supposés, de nous faire distinguer les plus petits objets dans les astres, à moins qu'il n'eût en même temps supposé dans ces objets une intensité de lumière infinie, ou, ce qui revient au même, qu'ils eussent, malgré leur éloignement, pu former un angle sensible à nos yeux.

Comme ce point d'optique n'a jamais été bien éclairci, j'entrerai dans quelques détails à cet égard. On peut démontrer que deux objets également lumineux, et dont les diamètres sont différens, ou bien que deux objets dont les diamètres sont égaux, et dont l'intensité de lumière est différente, doivent être observés avec des lunettes différentes ;

que, pour observer avec le plus grand avantage possible, il faudroit des lunettes différentes pour chaque planète; que, par exemple, Vénus, qui nous paroît bien plus petite que la Lune, et dont je suppose pour un instant la lumière égale à celle de la Lune, doit être observée avec une lunette d'un plus long foyer que la Lune; et que la perfection des lunettes, pour en tirer le plus grand avantage possible, dépend d'une combinaison qu'il faut faire non seulement entre les diamètres et les courbures des verres, comme Descartes l'a fait, mais encore entre ces mêmes diamètres et l'intensité de la lumière de l'objet qu'on observe. Cette intensité de la lumière de chaque objet est un élément que les auteurs qui ont écrit sur l'optique n'ont jamais employé; et cependant il fait plus que l'augmentation de l'angle sous lequel un objet doit nous paroître, en vertu de la courbure des verres. Il en est de même d'une chose qui semble être un paradoxe; c'est que les miroirs ardens, soit par réflexion, soit par réfraction, feroient un effet toujours égal, à quelque distance qu'on les mît du Soleil. Par exemple, mon miroir, brûlant à cent

cinquante pieds du bois sur la Terre, brûleroit de même à cent cinquante pieds, et avec autant de force, du bois dans Saturne, où cependant la chaleur du Soleil est environ cent fois moindre que sur la Terre. Je crois que les bons esprits sentiront bien, sans autre démonstration, la vérité de ces deux propositions, quoique toutes deux nouvelles et singulières.

Mais, pour ne pas m'écarter du sujet que je me suis proposé, et pour démontrer que Descartes n'ayant pas la théorie qui est nécessaire pour construire les miroirs d'Archimède, il n'étoit pas en état de prononcer qu'ils étoient impossibles, je vais faire sentir, autant que je le pourrai, en quoi consistoit la difficulté de cette invention.

Si le Soleil, au lieu d'occuper à nos yeux un espace de 32 minutes de degré, étoit réduit en un point, alors il est certain que ce point de lumière réfléchie par un point d'une surface polie produiroit à toutes les distances une lumière et une chaleur égales, parce que l'interposition de l'air ne fait rien ou presque rien ici; que par conséquent un miroir dont la surface seroit égale à celle d'un

autre, brûleroit à dix lieues à peu près aussi bien que le premier brûleroit à dix pieds, s'il étoit possible de le travailler sur une sphère de quarante lieues, comme on peut travailler l'autre sur une sphère de quarante pieds; parce que chaque point de la surface du miroir réfléchissant le point lumineux auquel nous avons réduit le disque du Soleil, on auroit, en variant la courbure des miroirs, une égale chaleur ou une égale lumière à toutes les distances sans changer leurs diamètres. Ainsi, pour brûler à une grande distance, dans ce cas il faudroit en effet un miroir très-exactement travaillé sur une sphère, ou une hyperboloïde proportionnée à la distance, ou bien un miroir brisé en une infinité de points physiques plans, qu'il faudroit faire coïncider au même point : mais le disque du Soleil occupant un espace de 32 minutes de degré, il est clair que le même miroir sphérique ou hyperbolique, ou d'une autre figure quelconque, ne peut jamais, en vertu de cette figure, réduire l'image du Soleil en un espace plus petit que de 32 minutes; que dès lors l'image augmentera toujours à mesure qu'on s'éloignera; que de plus chaque

point de la surface nous donnera une image d'une même largeur, par exemple, d'un demi-pied à soixante pieds : or, comme il est nécessaire, pour produire tout l'effet possible, que toutes ces images coïncident dans cet espace d'un demi-pied, alors, au lieu de briser le miroir en une infinité de parties, il est évident qu'il est à peu près égal et beaucoup plus commode de ne le briser qu'en un petit nombre de parties planes d'un demi-pied de diamètre chacune, parce que chaque petit miroir plan d'un demi-pied donnera une image d'environ un demi-pied, qui sera à peu près aussi lumineuse qu'une pareille surface d'un demi-pied prise dans le miroir sphérique ou hyperbolique.

La théorie de mon miroir ne consiste donc pas, comme on l'a dit ici, à avoir trouvé l'art d'inscrire aisément des plans dans une surface sphérique, et le moyen de changer à volonté la courbure de cette surface sphérique; mais elle suppose cette remarque plus délicate et qui n'avoit jamais été faite, c'est qu'il y a presque autant d'avantage à se servir de miroirs plans que de miroirs de toute autre figure, dès qu'on veut brûler à une certaine

distance, et que la grandeur du miroir plan est déterminée par la grandeur de l'image à cette distance, en sorte qu'à la distance de soixante pieds, où l'image du Soleil a environ un demi-pied de diamètre, on brûlera à peu près aussi bien avec des miroirs plans d'un demi-pied qu'avec des miroirs hyperboliques les mieux travaillés, pourvu qu'ils n'aient que la même grandeur. De même avec des miroirs plans d'un pouce et demi, on brûlera à quinze pieds à peu près avec autant de force qu'avec un miroir exactement travaillé dans toutes ses parties; et pour le dire en un mot, un miroir à facettes plates produira à peu près autant d'effet qu'un miroir travaillé avec la dernière exactitude dans toutes ses parties, pourvu que la grandeur de chaque facette soit égale à la grandeur de l'image du Soleil; et c'est par cette raison qu'il y a une certaine proportion entre la grandeur des miroirs plans et les distances, et que, pour brûler plus loin, on peut employer, même avec avantage, de plus grandes glaces dans mon miroir que pour brûler plus près.

Car si cela n'étoit pas, on sent bien qu'en

réduisant, par exemple, mes glaces de six pouces à trois pouces, et employant quatre fois autant de ces glaces que des premières, ce qui revient au même pour l'étendue de la surface du miroir, j'aurois eu quatre fois plus d'effet, et que plus les glaces seroient petites, et plus le miroir produiroit d'effet; et c'est à ceci que se seroit réduit l'art de quelqu'un qui auroit seulement tenté d'inscrire une surface polygone dans une sphère, et qui auroit imaginé l'ajustement dont je me suis servi pour faire changer à volonté la courbure de cette surface; il auroit fait les glaces les plus petites qu'il auroit été possible : mais le fond et la théorie de la chose est d'avoir reconnu qu'il n'étoit pas seulement question d'inscrire une surface polygone dans une sphère avec exactitude, et d'en faire varier la courbure à volonté, mais encore que chaque partie de cette surface devoit avoir une certaine grandeur déterminée pour produire aisément un grand effet; ce qui fait un problême fort différent, et dont la solution m'a fait voir qu'au lieu de travailler ou de briser un miroir dans toutes ses parties pour faire coïncider les images au même endroit, il

suffisoit de le briser ou de le travailler à facettes planes en grandes portions égales à la grandeur de l'image, et qu'il y avoit peu à gagner en le brisant en de trop petites parties, ou, ce qui est la même chose, en le travaillant exactement dans tous ses points. C'est pour cela que j'ai dit dans mon Mémoire que, pour brûler à de grandes distances, il falloit imaginer quelque chose de nouveau et tout-à-fait indépendant de ce qu'on avoit pensé et pratiqué jusqu'ici; et ayant supputé géométriquement la différence, j'ai trouvé qu'un miroir parfait, de quelque courbure qu'il puisse être, n'aura jamais plus d'avantage sur le mien que de 17 à 10, et qu'en même temps l'exécution en seroit impossible pour ne brûler même qu'à une petite distance comme de vingt-cinq ou trente pieds. Mais revenons aux assertions de Descartes.

Il dit ensuite « qu'ayant deux verres ou « miroirs ardens, dont l'un soit beaucoup « plus grand que l'autre, de quelque façon « qu'ils puissent être, pourvu que leurs « figures soient toutes pareilles, le plus « grand doit bien ramasser les rayons du « Soleil en un plus grand espace et plus loin

« de soi que le plus petit, mais que ces rayons « ne doivent point avoir plus de force en « chaque partie de cet espace qu'en celui où « le plus petit les ramasse, en sorte qu'on « peut faire des verres ou miroirs extrême- « ment petits, qui brûleront avec autant de « violence que les plus grands. »

Ceci est absolument contraire aux expériences que j'ai rapportées dans mon Mémoire, où j'ai fait voir qu'à égale intensité de lumière un grand foyer brûle beaucoup plus qu'un petit : et c'est en partie sur cette remarque, toute opposée au sentiment de Descartes, que j'ai fondé la théorie de mes miroirs; car voici ce qui suit de l'opinion de ce philosophe. Prenons un grand miroir, ardent comme celui du sieur Segard, qui a trente-deux pouces de diamètre, et un foyer de neuf lignes de largeur à six pieds de distance, auquel foyer le cuivre se fond en une minute, et faisons dans les mêmes proportions un petit miroir ardent de trente-deux lignes de diamètre, dont le foyer sera de $\frac{9}{12}$ ou de $\frac{3}{4}$ de ligne de diamètre, et la distance de six pouces : puisque le grand miroir fond le cuivre en une minute dans l'étendue de

son foyer, qui est de neuf lignes, le petit doit, selon Descartes, fondre dans le même temps la même matière dans l'étendue de son foyer, qui est de $\frac{1}{4}$ de ligne : or j'en appelle à l'expérience, et on verra que, bien loin de fondre le cuivre, à peine ce petit verre brûlant pourra-t-il lui donner un peu de chaleur.

Comme ceci est une remarque physique et qui n'a pas peu servi à augmenter mes espérances lorsque je doutois encore si je pourrois produire du feu à une grande distance, je crois devoir communiquer ce que j'ai pensé à ce sujet.

La première chose à laquelle je fis attention, c'est que la chaleur se communique de proche en proche et se disperse, quand même elle est appliquée continuellement sur le même point : par exemple, si on fait tomber le foyer d'un verre ardent sur le centre d'un écu, et que ce foyer n'ait qu'une ligne de diamètre, la chaleur qu'il produit sur le centre de l'écu se disperse et s'étend dans le volume entier de l'écu, et il devient chaud jusqu'à la circonférence ; dès lors toute la chaleur, quoiqu'employée d'abord

contre le centre de l'écu, ne s'y arrête pas, et ne peut pas produire un aussi grand effet que si elle y demeuroit toute entière. Mais si au lieu d'un foyer d'une ligne, qui tombe sur le milieu de l'écu, je fais tomber sur l'écu tout entier un foyer d'égale force au premier, toutes les parties de l'écu étant également échauffées dans ce dernier cas, il n'y a pas de perte de chaleur comme dans le premier; et le point du milieu profitant de la chaleur des autres points autant que ces points profitent de la sienne, l'écu sera fondu par la chaleur dans ce dernier cas, tandis que dans le premier il n'aura été que légèrement échauffé. De là je conclus que toutes les fois qu'on peut faire un grand foyer, on est sûr de produire de plus grands effets qu'avec un petit foyer, quoique l'intensité de lumière soit la même dans tous deux, et qu'un petit miroir ardent ne peut jamais faire autant d'effet qu'un grand ; et même qu'avec une moindre intensité de lumière un grand miroir doit faire plus d'effet qu'un petit, la figure de ces deux miroirs étant toujours supposée semblable. Ceci, qui, comme l'on voit, est directement

opposé à ce que dit Descartes, s'est trouvé confirmé par les expériences rapportées dans mon Mémoire. Mais je ne me suis pas borné à savoir d'une manière générale que les grands foyers agissoient avec plus de force que les petits : j'ai déterminé à très-peu près de combien est cette augmentation de force, et j'ai vu qu'elle étoit très-considérable ; car j'ai trouvé que s'il faut dans un miroir cent quarante-quatre fois la surface d'un foyer de six lignes de diamètre pour brûler, il faut au moins le double ; c'est-à-dire, deux cent quatre-vingt-huit fois cette surface, pour brûler à un foyer de deux lignes, et qu'à un foyer de six pouces il ne faut pas trente fois cette même surface du foyer pour brûler; ce qui fait, comme l'on voit, une prodigieuse différence, sur laquelle j'ai compté lorsque j'ai entrepris de faire mon miroir; sans cela il y auroit eu de la témérité à l'entreprendre, et il n'auroit pas réussi. Car supposons un instant que je n'eusse pas eu cette connoissance de l'avantage des grands foyers sur les petits; voici comme j'aurois été obligé de raisonner. Puisqu'il faut à un miroir deux cent quatre-

vingt-huit fois la surface du foyer pour brûler dans un espace de deux lignes, il faudra de même deux cent quatre-vingt-huit glaces ou miroirs de six pouces pour brûler dans un espace de six pouces; et dès lors, pour brûler seulement à cent pieds, il auroit fallu un miroir composé d'environ onze cent cinquante-deux glaces de six pouces; ce qui étoit une grandeur énorme pour un petit effet, et cela étoit plus que suffisant pour me faire abandonner mon projet: mais connoissant l'avantage considérable des grands foyers sur les petits, qui, dans ce cas, est de 288 à 30, je sentis qu'avec cent vingt glaces de six pouces je brûlerois très-certainement à cent pieds; et c'est sur cela que j'entrepris avec confiance la construction de mon miroir, qui, comme l'on voit, suppose une théorie, tant mathématique que physique, fort différente de ce qu'on pouvoit imaginer au premier coup d'œil.

Descartes ne devoit donc pas affirmer qu'un petit miroir ardent brûleroit aussi violemment qu'un grand.

Il dit ensuite: « Et un miroir ardent dont « le diamètre n'est pas plus grand qu'environ

« la centième partie de la distance qui est « entre lui et le lieu où il doit rassembler les « rayons du Soleil, c'est-à-dire, qui a même « proportion avec cette distance qu'a le dia- « mètre du Soleil avec celle qui est entre lui et « nous, fût-il poli par un ange, ne peut faire « que les rayons qu'il assemble échauffent « plus en l'endroit où il les assemble, que « ceux qui viennent directement du Soleil; « ce qui se doit aussi entendre des verres « brûlans à proportion : d'où vous pouvez « voir que ceux qui ne sont qu'à demi savans « en l'optique se laissent persuader beaucoup « de choses qui sont impossibles, et que ces « miroirs dont on a dit qu'Archimède brû- « loit des navires de fort loin, devoient être « extrêmement grands, ou plutôt qu'ils sont « fabuleux. »

C'est ici que je bornerai mes réflexions : si notre illustre philosophe eût su que les grands foyers brûlent plus que les petits à égale intensité de lumière, il auroit jugé bien différemment, et il auroit mis une forte restriction à cette conclusion.

Mais, indépendamment de cette connois- sance qui lui manquoit, son raisonnement

n'est point du tout exact; car un miroir ardent dont le diamètre n'est pas plus grand qu'environ la centième partie qui est entre lui et le lieu où il doit rassembler les rayons, n'est plus un miroir ardent, puisque le diamètre de l'image est environ égal au diamètre du miroir dans ce cas, et par conséquent il ne peut rassembler les rayons, comme le dit Descartes, qui semble n'avoir pas vu qu'on doit réduire ce cas à celui des miroirs plans. Mais de plus, en n'employant que ce qu'il savoit et ce qu'il avoit prévu, il est visible que s'il eût réfléchi sur l'effet de ce prétendu miroir qu'il suppose poli par un ange, et qui ne doit pas rassembler, mais seulement réfléchir la lumière avec autant de force qu'elle en a en venant directement du Soleil, il auroit vu qu'il étoit possible de brûler à de grandes distances avec un miroir de médiocre grandeur, s'il eût pu lui donner la figure convenable; car il auroit trouvé que, dans cette hypothèse, un miroir de cinq pieds auroit brûlé à plus de deux cents pieds, parce qu'il ne faut pas six fois la chaleur du Soleil pour brûler à cette distance; et de même, qu'un miroir de sept pieds auroit

brûlé à près de quatre cents pieds, ce qui ne fait pas des miroirs assez grands pour qu'on puisse les traiter de fabuleux.

Il me reste à observer que Descartes ignoroit combien il falloit de fois la lumière du Soleil pour brûler; qu'il ne dit pas un mot des miroirs plans; qu'il étoit fort éloigné de soupçonner la mécanique par laquelle on pouvoit les disposer pour brûler au loin, et que par conséquent il a prononcé sans avoir assez de connoissance sur cette matière, et même sans avoir fait assez de réflexions sur ce qu'il en savoit.

Au reste, je ne suis pas le premier qui aie fait quelques reproches à Descartes sur ce sujet, quoique j'en aie acquis le droit plus qu'un autre; car, pour ne pas sortir du sein de cette compagnie *, je trouve que M. du Fay en a presque dit autant que moi. Voici ses paroles: *Il ne s'agit pas*, dit-il, *si un tel miroir qui brûleroit à six cents pieds est possible ou non, mais si, physiquement parlant, cela peut arriver. Cette opinion a été extrêmement contredite, et je dois mettre Descartes à la tête*

* L'académie royale des sciences.

de ceux qui l'ont combattue. Mais quoique M. du Fay regardât la chose comme impossible à exécuter, il n'a pas laissé de sentir que Descartes avoit eu tort d'en nier la possibilité dans la théorie. J'avoùerai volontiers que Descartes a entrevu ce qui arrive aux images réfléchies ou réfractées à différentes distances, et qu'à cet égard sa théorie est peut-être aussi bonne que celle de M. du Fay, que ce dernier n'a pas développée : mais les inductions qu'il en tire sont trop générales et trop vagues, et les dernières conséquences sont fausses; car si Descartes eût bien compris toute cette matière, au lieu de traiter le miroir d'Archimède de chose impossible et fabuleuse, voici ce qu'il auroit dû conclure de sa propre théorie. Puisqu'un miroir ardent, dont le diamètre n'est pas plus grand que la centième partie de la distance qui est entre le lieu où il doit rassembler les rayons du Soleil, fût-il poli par un ange, ne peut faire que les rayons qu'il assemble échauffent plus en l'endroit où il les assemble que ceux qui viennent directement du Soleil, ce miroir ardent doit être considéré comme un miroir plan parfaitement poli, et par consé-

quent, pour brûler à une grande distance, il faut autant de ces miroirs plans qu'il faut de fois la lumière directe du Soleil pour brûler; en sorte que les miroirs dont on dit qu'Archimède s'est servi pour brûler des vaisseaux de loin, devoient être composés de miroirs plans, dont il falloit au moins un nombre égal au nombre de fois qu'il faut la lumière directe du Soleil pour brûler. Cette conclusion, qui eût été la vraie selon ses principes, est, comme l'on voit, fort différente de celle qu'il a donnée.

On est maintenant en état de juger si je n'ai pas traité le célèbre Descartes avec tous les égards que mérite son grand nom, lorsque j'ai dit dans mon Mémoire : *Descartes, né pour juger et même pour surpasser Archimède, a prononcé contre lui d'un ton de maître : il a nié la possibilité de l'invention; et son opinion a prévalu sur les témoignages et la croyance de toute l'antiquité.*

Ce que je viens d'exposer suffit pour justifier ces termes que l'on m'a reprochés; et peut-être même sont-ils trop forts, car Archimède étoit un très-grand génie; et lorsque j'ai dit que Descartes étoit né pour le juger,

et même pour le surpasser, j'ai senti qu'il pouvoit bien y avoir un peu de compliment national dans mon expression.

J'aurois encore beaucoup de choses à dire sur cette matière : mais comme ceci est déja bien long, quoique j'aie fait tous mes efforts pour être court, je me bornerai pour le fond du sujet à ce que je viens d'exposer ; mais je ne puis me dispenser de parler encore un moment au sujet de l'historique de la chose, afin de satisfaire, par ce seul Mémoire, à toutes les objections et difficultés qu'on m'a faites.

Je ne prétends pas prononcer affirmativement qu'Archimède se soit servi de pareils miroirs au siége de Syracuse, ni même que ce soit lui qui les ait inventés ; et je ne les ai appelés *les miroirs d'Archimède* que parce qu'ils étoient connus sous ce nom depuis plusieurs siècles. Les auteurs contemporains et ceux des temps qui suivent celui d'Archimède, et qui sont parvenus jusqu'à nous, ne font pas mention de ces miroirs : Tite-Live, à qui le merveilleux fait tant de plaisir à raconter, n'en parle pas ; Polybe, à l'exactitude de qui les grandes inventions

n'auroient pas échappé, puisqu'il entre dans le détail des plus petites, et qu'il décrit très-soigneusement les plus légères circonstances du siége de Syracuse, garde un silence profond au sujet de ces miroirs; Plutarque, ce judicieux et grave auteur, qui a rassemblé un si grand nombre de faits particuliers de la vie d'Archimède, parle aussi peu des miroirs que les deux précédens. En voilà plus qu'il n'en faut pour se croire fondé à douter de la vérité de cette histoire : cependant ce ne sont ici que des témoignages négatifs; et quoiqu'ils ne soient pas indifférens, ils ne peuvent jamais donner une probabilité équivalente à celle d'un seul témoignage positif.

Galien, qui vivoit dans le second siècle, est le premier qui en ait parlé ; et, après avoir raconté l'histoire d'un homme qui enflamma de loin un morceau de bois résineux, mêlé avec de la fiente de pigeon, il dit que c'est de cette façon qu'Archimède brûla les vaisseaux des Romains : mais, comme il ne décrit pas ce moyen de brûler de loin, et que son expression peut signifier aussi bien un feu qu'on auroit lancé à la main ou par quelque machine, qu'une lumière réfléchie

par un miroir, son témoignage n'est pas assez clair pour qu'on puisse en rien conclure d'affirmatif. Cependant on doit présumer, et même avec une grande probabilité, qu'il ne rapporte l'histoire de cet homme qui brûla au loin, que parce qu'il le fit d'une manière singulière, et que, s'il n'eût brûlé qu'en lançant le feu à la main, ou en le jetant par le moyen d'une machine, il n'y auroit eu rien d'extraordinaire dans cette façon d'enflammer, rien par conséquent qui fût digne de remarque, et qui méritât d'être rapporté et comparé à ce qu'avoit fait Archimède ; et dès lors Galien n'en eût pas fait mention.

On a aussi des témoignages semblables de deux ou trois autres auteurs du troisième siècle, qui disent seulement qu'Archimède brûla de loin les vaisseaux des Romains, sans expliquer les moyens dont il se servit : mais les témoignages des auteurs du douzième siècle ne sont point équivoques, et sur-tout ceux de Zonaras et de Tzetzès que j'ai cités ; c'est-à-dire, ils nous font voir clairement que cette invention étoit connue des anciens ; car la description qu'en fait ce dernier auteur, suppose nécessairement ou qu'il eût trouvé lui-

même le moyen de construire ces miroirs, ou qu'il l'eût appris et cité d'après quelque auteur qui en avoit fait une très-exacte description, et que l'inventeur, quel qu'il fût, entendoit à fond la théorie de ces miroirs; ce qui résulte de ce que dit Tzetzès de la figure de vingt-quatre angles ou côtés qu'avoient les petits miroirs, ce qui est en effet la figure la plus avantageuse. Ainsi on ne peut pas douter que ces miroirs n'aient été inventés et exécutés autrefois, et le témoignage de Zonaras, au sujet de Proclus, n'est pas suspect: *Proclus s'en servit,* dit-il, *au siége de Constantinople, l'an* 514, *et il brûla la flotte de Vitalien.* Et même ce que Zonaras ajoute me paroît une espèce de preuve qu'Archimède étoit le premier inventeur de ces miroirs; car il dit précisément que cette découverte étoit ancienne, et que l'historien Dion en attribue l'honneur à Archimède, qui la fit et s'en servit contre les Romains au siége de Syracuse. Les livres de Dion où il est parlé du siége de Syracuse, ne sont pas parvenus jusqu'à nous; mais il y a grande apparence qu'ils existoient encore du temps de Zonaras, et que, sans cela, il ne les eût pas cités comme

il l'a fait. Ainsi, toutes les probabilités de part et d'autre étant évaluées, il reste une forte présomption qu'Archimède avoit en effet inventé ces miroirs, et qu'il s'en étoit servi contre les Romains. Feu M. Melot, que j'ai cité dans mon Mémoire, et qui avoit fait des recherches particulières et très-exactes sur ce sujet, étoit de ce sentiment, et il pensoit qu'Archimède avoit en effet brûlé les vaisseaux à une distance médiocre, et, comme le dit Tzetzès, à la portée du trait. J'ai évalué la portée du trait à cent cinquante pieds, d'après ce que m'en ont dit des savans très-versés dans la connoissance des usages anciens : ils m'ont assuré que toutes les fois qu'il est question, dans les auteurs, de la portée du trait, on doit entendre la distance à laquelle un homme lançoit à la main un trait ou un javelot ; et si cela est, je crois avoir donné à cette distance toute l'étendue qu'elle peut comporter.

J'ajouterai qu'il n'est question, dans aucun auteur ancien, d'une plus grande distance, comme de trois stades, et j'ai déja dit que l'auteur qu'on m'avoit cité, Diodore de Sicile, n'en parle pas, non plus que du siége

de Syracuse, et que ce qui nous reste de cet auteur, finit à la guerre d'Ipsus et d'Antigonus, environ soixante ans avant le siége de Syracuse. Ainsi on ne peut pas excuser Descartes, en supposant qu'il a cru que la distance à laquelle on a prétendu qu'Archimède avoit brûlé étoit très-grande, comme, par exemple, de trois stades, puisque cela n'est dit dans aucun auteur ancien, et qu'au contraire il est dit dans Tzetzès que cette distance n'étoit que de la portée du trait; mais je suis convaincu que c'est cette même distance que Descartes a regardée comme fort grande, et qu'il étoit persuadé qu'il n'étoit pas possible de faire des miroirs pour brûler à cent cinquante pieds; qu'enfin c'est pour cette raison qu'il a traité ceux d'Archimède de fabuleux.

Au reste, les effets du miroir que j'ai construit ne doivent être regardés que comme des essais sur lesquels, à la vérité, on peut statuer, toutes proportions gardées, mais qu'on ne doit pas considérer comme les plus grands effets possibles; car je suis convaincu que si on vouloit faire un miroir semblable, avec toutes les attentions nécessaires, il pro-

duiroit plus du double de l'effet. La première attention seroit de prendre des glaces de figure hexagone, ou même de vingt-quatre côtés, au lieu de les prendre barlongues, comme celles que j'ai employées, et cela afin d'avoir des figures qui pussent s'ajuster ensemble sans laisser de grands intervalles, et qui approchassent en même temps de la figure circulaire. La seconde seroit de faire polir ces glaces jusqu'au dernier degré par un lunetier, au lieu de les employer telles qu'elles sortent de la manufacture, où le poliment se faisant par une portion de cercle, les glaces sont toujours un peu concaves et irrégulières. La troisième attention seroit de choisir, parmi un grand nombre de glaces, celles qui donneroient à une grande distance une image plus vive et mieux terminée, ce qui est extrêmement important, et au point qu'il y a dans mon miroir des glaces qui font seules trois fois plus d'effet que d'autres à une grande distance, quoiqu'à une petite distance, comme de vingt ou vingt-cinq pieds, l'effet en paroisse absolument le même. Quatrièmement, il faudroit des glaces d'un demi-pied tout au plus de surface pour brûler à cent cinquante

ou deux cents pieds, et d'un pied de surface pour brûler à trois ou quatre cents pieds. Cinquièmement, il faudroit les faire étamer avec plus de soin qu'on ne le fait ordinairement. J'ai remarqué qu'en général les glaces fraîchement étamées réfléchissent plus de lumière que celles qui le sont anciennement; l'étamage, en se séchant, se gerce, se divise, et laisse de petits intervalles qu'on apperçoit en y regardant de près avec une loupe; et ces petits intervalles donnant passage à la lumière, la glace en réfléchit d'autant moins. On pourroit trouver le moyen de faire un meilleur étamage, et je crois qu'on y parviendroit en employant de l'or et du vif-argent : la lumière seroit peut-être un peu jaune par la réflexion de cet étamage; mais bien loin que cela fît un désavantage, j'imagine au contraire qu'il y auroit à gagner, parce que les rayons jaunes sont ceux qui ébranlent le plus fortement la rétine et qui brûlent le plus violemment, comme je crois m'en être assuré, en réunissant, au moyen d'un verre lenticulaire, une quantité de rayons jaunes qui m'étoient fournis par un grand prisme, et en comparant leur action

avec une égale quantité de rayons de toute autre couleur, réunis par le même verre lenticulaire, et fournis par le même prisme.

Sixièmement, il faudroit un châssis de fer et des vis de cuivre, et un ressort pour assujettir chacune des petites planches qui portent les glaces, tout cela conforme à un modèle que j'ai fait exécuter par le sieur Chopitel, afin que la sécheresse et l'humidité, qui agissent sur le châssis et les vis en bois, ne causassent pas d'inconvénient, et que le foyer, lorsqu'il est une fois formé, ne fût pas sujet à s'élargir, et à se déranger lorsqu'on fait rouler le miroir sur son pivot, ou qu'on le fait tourner autour de son axe pour suivre le Soleil: il faudroit aussi y ajouter une alidade avec deux pinnules au milieu de la partie inférieure du châssis, afin de s'assurer de la position du miroir par rapport au Soleil, et une autre alidade semblable, mais dans un plan vertical au plan de la première pour suivre le Soleil à ses différentes hauteurs.

Au moyen de toutes ces attentions, je crois pouvoir assurer, par l'expérience que j'ai acquise en me servant de mon miroir, qu'on pourroit en réduire la grandeur à moitié, et

qu'au lieu d'un miroir de sept pieds avec lequel j'ai brûlé du bois à cent cinquante pieds, on produiroit le même effet avec un miroir de cinq pieds et demi, ce qui n'est, comme l'on voit, qu'une très-médiocre grandeur pour un très-grand effet; et de même, je crois pouvoir assurer qu'il ne faudroit alors qu'un miroir de quatre pieds et demi pour brûler à cent pieds, et qu'un miroir de trois pieds et demi brûleroit à soixante pieds, ce qui est une distance bien considérable en comparaison du diamètre du miroir.

Avec un assemblage de petits miroirs plans hexagones et d'acier poli, qui auroient plus de solidité, plus de durée que les glaces étamées, et qui ne seroient point sujets aux altérations que la lumière du Soleil fait subir à la longue à l'étamage, on pourroit produire des effets très-utiles, et qui dédommageroient amplement des dépenses de la construction du miroir.

1°. Pour toutes les évaporations des eaux salées, où l'on est obligé de consommer du bois et du charbon, ou d'employer l'art des bâtimens de graduation, qui coûtent beaucoup plus que la construction de plusieurs miroirs

tels que je les propose. Il ne faudroit, pour l'évaporation des eaux salées, qu'un assemblage de douze miroirs plans d'un pied quarré chacun; la chaleur qu'ils réfléchiront à leur foyer, quoique dirigée au-dessous de leur niveau, et à quinze ou seize pieds de distance, sera encore assez grande pour faire bouillir l'eau, et produire par conséquent une prompte évaporation, car la chaleur de l'eau bouillante n'est que triple de la chaleur du soleil d'été : et, comme la réflexion d'une surface plane bien polie ne diminue la chaleur que de moitié, il ne faudroit que six miroirs pour produire au foyer une chaleur égale à celle de l'eau bouillante; mais j'en double le nombre, afin que la chaleur se communique plus vîte, et aussi à cause de la perte occasionnée par l'obliquité, sous laquelle le faisceau de la lumière tombe sur la surface de l'eau qu'on veut faire évaporer, et encore parce que l'eau salée s'échauffe plus lentement que l'eau douce. Ce miroir, dont l'assemblage ne formeroit qu'un quarré de quatre pieds de largeur sur trois de hauteur, seroit aisé à manier et à transporter; et, si l'on vouloit en doubler ou tripler les effets dans

le même temps, il vaudroit mieux faire plusieurs miroirs semblables, c'est-à-dire, doubler ou tripler le nombre de ces mêmes miroirs de quatre pieds sur trois, que d'en augmenter l'étendue; car l'eau ne peut recevoir qu'un certain degré de chaleur déterminée, et l'on ne gagneroit presque rien à augmenter ce degré et par conséquent la grandeur du miroir; au lieu qu'en faisant deux foyers par deux miroirs égaux, on doublera l'effet de l'évaporation, et on le triplera par trois miroirs dont les foyers tomberont séparément les uns des autres sur la surface de l'eau qu'on veut faire évaporer. Au reste, l'on ne peut éviter la perte causée par l'obliquité; et si l'on veut y remédier, ce ne peut être que par une autre perte encore plus grande, en recevant d'abord les rayons du Soleil sur une grande glace qui les réfléchiroit sur le miroir brisé; car alors il brûleroit en bas, au lieu de brûler en haut : mais il perdroit moitié de la chaleur par la première réflexion, et moitié du reste par la seconde; en sorte qu'au lieu de six petits miroirs, il en faudroit douze pour obtenir une chaleur égale à celle de l'eau bouillante.

Pour que l'évaporation se fasse avec plus de succès, il faudra diminuer l'épaisseur de l'eau autant qu'il sera possible. Une masse d'eau d'un pied d'épaisseur ne s'évaporera pas aussi vîte, à beaucoup près, que la même masse réduite à six pouces d'épaisseur et augmentée du double en superficie. D'ailleurs le fond étant plus près de la surface, il s'échauffe plus promptement, et cette chaleur que reçoit le fond du vaisseau, contribue encore à la célérité de l'évaporation.

2°. On pourra se servir avec avantage de ces miroirs pour calciner les plâtres et même les pierres calcaires; mais il les faudroit plus grands et placer les matières en haut, afin de ne rien perdre par l'obliquité de la lumière. On a vu par les expériences détaillées dans le second de ces Mémoires, que le gypse s'échauffe plus d'une fois plus vîte que la pierre calcaire tendre, et près de deux fois plus vîte que le marbre ou la pierre calcaire dure; leur calcination respective doit être en même raison. J'ai trouvé, par une expérience répétée trois fois, qu'il faut un peu plus de chaleur pour calciner le gypse blanc qu'on appelle *albâtre*, que pour fondre le

plomb. Or la chaleur nécessaire pour fondre le plomb, est, suivant les expériences de Newton, huit fois plus grande que la chaleur du soleil d'été : il faudroit donc au moins seize petits miroirs pour calciner le gypse; et à cause des pertes occasionnées tant par l'obliquité de la lumière que par l'irrégularité du foyer, qu'on n'éloignera pas au-delà de quinze pieds, je présume qu'il faudroit vingt et peut-être vingt-quatre miroirs d'un pied quarré chacun pour calciner le gypse en peu de temps : par conséquent il faudroit un assemblage de quarante-huit de ces petits miroirs pour opérer la calcination sur la pierre calcaire la plus tendre, et soixante-douze des mêmes miroirs d'un pied en quarré pour calciner les pierres calcaires dures. Or un miroir de douze pieds de largeur sur six pieds de hauteur ne laisse pas d'être une grosse machine embarrassante et difficile à mouvoir, à monter et à maintenir. Cependant on viendroit à bout de ces difficultés, si le produit de la calcination étoit assez considérable pour équivaloir et même surpasser la dépense de la consommation du bois : il faudroit, pour s'en assurer, commencer

par calciner le plâtre avec un miroir de vingt-quatre pièces, et, si cela réussissoit, faire deux autres miroirs pareils, au lieu d'en faire un grand de soixante-douze pièces; car, en faisant coïncider les foyers de ces trois miroirs de vingt-quatre pièces, on produira une chaleur égale, et qui seroit assez forte pour calciner le marbre ou la pierre dure.

Mais une chose très-essentielle reste douteuse, c'est de savoir combien il faudroit de temps pour calciner, par exemple, un pied cube de matière, sur-tout si ce pied cube n'étoit frappé de chaleur que par une face : je vois qu'il se passeroit du temps avant que la chaleur eût pénétré toute son épaisseur; je vois que, pendant tout ce temps, il s'en perdroit une assez grande partie qui sortiroit de ce bloc de matière après y être entrée : je crains donc beaucoup que la pierre n'étant pas saisie par la chaleur de tous les côtés à la fois, la calcination ne fût très-lente, et le produit en chaux très-petit. L'expérience seule peut ici décider; mais il faudroit au moins la tenter sur les matières gypseuses, dont la calcination doit être une fois plus

prompte que celle des pierres calcaires *.

En concentrant cette chaleur du Soleil dans un four qui n'auroit d'autre ouverture que celle qui laisseroit entrer la lumière, on empêcheroit en grande partie la chaleur de s'évaporer; et en mêlant avec les pierres calcaires une petite quantité de brasque ou poudre de charbon, qui de toutes les matières combustibles est la moins chère, cette légère quantité d'aliment suffiroit pour nourrir et augmenter de beaucoup la quantité de chaleur; ce qui produiroit une plus ample et plus prompte calcination, et à très-peu de frais, comme on l'a vu par la seconde expérience du quatrième Mémoire.

3°. Ces miroirs d'Archimède peuvent servir en effet à mettre le feu dans des voiles de vaisseau, et même dans le bois goudronné,

* Il vient de paroître un petit ouvrage rempli de grandes vues, de M. l'abbé Scipion Bexon, qui a pour titre: *Systême de la fertilisation*. Il propose mes miroirs comme un moyen facile pour réduire en chaux toutes les matières : mais il leur attribue plus de puissance qu'ils n'en ont réellement, et ce n'est qu'en les multipliant qu'on pourroit obtenir les grands effets qu'il s'en promet.

à plus de cent cinquante pieds de distance : on pourroit s'en servir aussi contre ses ennemis en brûlant les blés et les autres productions de la terre ; cet effet, qui seroit assez prompt, seroit très-dommageable. Mais ne nous occupons pas des moyens de faire du mal, et ne pensons qu'à ceux qui peuvent procurer quelque bien à l'humanité.

4°. Ces miroirs fournissent le seul et unique moyen qu'il y ait de mesurer exactement la chaleur : il est évident que deux miroirs dont les images lumineuses se réunissent, produisent une chaleur double dans tous les points de la surface qu'elles occupent ; que trois, quatre, cinq, etc. miroirs donneront de même une chaleur triple, quadruple, quintuple, etc., et que par conséquent on peut par ce moyen faire un thermomètre dont les divisions ne seront point arbitraires, et les échelles différentes, comme le sont celles de tous les thermomètres dont on s'est servi jusqu'à ce jour. La seule chose arbitraire qui entreroit dans la construction de ce thermomètre, seroit la supposition du nombre total des parties du mercure en partant du degré de froid absolu ; mais en

le prenant à 10000 au-dessous de la congélation de l'eau, au lieu de 1000, comme dans nos thermomètres ordinaires, on approcheroit beaucoup de la réalité, sur-tout en choisissant les jours de l'hiver les plus froids pour graduer le thermomètre; chaque image du Soleil lui donneroit un degré de chaleur au-dessus de la température que nous supposerons à celui de la glace. Le point auquel s'éleveroit le mercure par la chaleur de la première image du Soleil, seroit marqué 1; le point où il s'éleveroit par la chaleur de deux images égales et réunies, sera marqué 2; celui où trois images le feront monter, sera marqué 3; et ainsi de suite, jusqu'à la plus grande hauteur, qu'on pourroit étendre jusqu'au degré 36. On auroit à ce degré une augmentation de chaleur trente-six fois plus grande que celle du premier degré, dix-huit fois plus grande que celle du second, douze fois plus grande que celle du troisième, neuf fois plus grande que celle du quatrième, etc. : cette augmentation 36 de chaleur au-dessus de celle de la glace seroit assez grande pour fondre le plomb, et il y a toute apparence que le mercure, qui

se volatilise à une bien moindre chaleur, feroit, par sa vapeur, casser le thermomètre. On ne pourra donc étendre la division que jusqu'à 12 et peut-être même à 9 degrés, si l'on se sert de mercure pour ces thermomètres; et l'on n'aura par ce moyen que les degrés d'une augmentation de chaleur jusqu'à 9. C'est une des raisons qui avoient déterminé Newton à se servir d'huile de lin au lieu de mercure; et en effet on pourra, en se servant de cette liqueur, étendre la division non seulement à 12 degrés, mais jusqu'au point de cette huile bouillante. Je ne propose pas de remplir ces thermomètres avec de l'esprit-de-vin coloré; il est universellement reconnu que cette liqueur se décompose au bout d'un assez petit temps *, et que d'ailleurs elle ne peut servir aux expériences d'une chaleur un peu forte.

Lorsqu'on aura marqué sur l'échelle de ces thermomètres remplis d'huile ou de mercure, les premières divisions 1, 2, 3, 4, etc.

* Plusieurs voyageurs m'ont écrit que les thermomètres à l'esprit-de-vin de Réaumur leur étoient devenus tout-à-fait inutiles, parce que cette liqueur se décolore et se charge d'une espèce de boue en assez peu de temps.

qui indiqueront le double, le triple, le quadruple, etc. des augmentations de la chaleur, il faudra chercher les parties aliquotes de chaque division : par exemple, les points de $1\frac{1}{4}$, $2\frac{1}{4}$, $3\frac{1}{4}$, etc. ou de $1\frac{1}{2}$, $2\frac{1}{2}$, $3\frac{1}{2}$, etc. et de $1\frac{3}{4}$, $2\frac{3}{4}$, $3\frac{3}{4}$, etc.; ce que l'on obtiendra par un moyen facile, qui sera de couvrir la moitié, ou le quart, ou les trois quarts de la superficie d'un des petits miroirs, car alors l'image qu'il réfléchira ne contiendra que le quart, la moitié ou les trois quarts de la chaleur que contient l'image entière; et par conséquent les divisions des parties aliquotes seront aussi exactes que celles des nombres entiers.

Si l'on réussit une fois à faire ce thermomètre réel, et que j'appelle ainsi parce qu'il marqueroit réellement la proportion de la chaleur, tous les autres thermomètres, dont les échelles sont arbitraires et différentes entre elles, deviendroient non seulement superflus, mais même nuisibles, dans bien des cas, à la précision des vérités physiques qu'on cherche par leur moyen. On peut se rappeler l'exemple que j'en ai donné, en parlant de l'estimation de la chaleur qui émane du globe

de la Terre, comparée à la chaleur qui nous vient du Soleil.

5°. Au moyen de ces miroirs brisés, on pourra aisément recueillir, dans leur entière pureté, les parties volatiles de l'or et de l'argent, et des autres métaux et minéraux; car, en exposant au large foyer de ces miroirs une grande plaque de métal, comme une assiette ou un plat d'argent, on en verra sortir une fumée très-abondante pendant un temps considérable, jusqu'au moment où le métal tombe en fusion; et, en ne donnant qu'une chaleur un peu moindre que celle qu'exige la fusion, on fera évaporer le métal au point d'en diminuer le poids assez considérablement. Je me suis assuré de ce premier fait, qui peut fournir des lumières sur la composition intime des métaux : j'aurois bien desiré recueillir cette vapeur abondante que le feu pur du Soleil fait sortir du métal; mais je n'avois pas les instrumens nécessaires, et je ne puis que recommander aux chimistes et aux physiciens de suivre cette expérience importante, dont les résultats seroient d'autant moins équivoques que la vapeur métallique est ici très-pure; au lieu que, dans toute

opération semblable qu'on voudroit faire avec le feu commun, la vapeur métallique seroit nécessairement mêlée d'autres vapeurs provenant des matières combustibles qui servent d'aliment à ce feu.

D'ailleurs ce moyen est peut-être le seul que nous ayons pour volatiliser les métaux fixes, tels que l'or et l'argent; car je présume que cette vapeur, que j'ai vue s'élever en si grande quantité de ces métaux échauffés au large foyer de mon miroir, n'est pas de l'eau ni quelque autre liqueur, mais des parties mêmes du métal que la chaleur en détache en les volatilisant. On pourroit, en recevant ainsi les vapeurs pures des différens métaux, les mêler ensemble, et faire, par ce moyen, des alliages plus intimes et plus purs qu'on ne l'a fait par la fusion et par la mixtion de ces mêmes métaux fondus, qui ne se marient jamais parfaitement, à cause de l'inégalité de leur pesanteur spécifique, et de plusieurs autres circonstances qui s'opposent à l'intimité et à l'égalité parfaite du mélange. Comme les parties constituantes de ces vapeurs métalliques sont dans un état de division bien plus grande que dans l'état de

fusion, elles se joindroient et se réuniroient de bien plus près et plus facilement. Enfin on arriveroit peut-être, par ce moyen, à la connoissance d'un fait général, et que plusieurs bonnes raisons me font soupçonner depuis long-temps : c'est qu'il y auroit pénétration dans tous les alliages faits de cette matière, et que leur pesanteur spécifique seroit toujours plus grande que la somme des pesanteurs spécifiques des matières dont ils seroient composés ; car la pénétration n'est qu'un degré plus grand d'intimité, et l'intimité, toutes choses égales d'ailleurs, sera d'autant plus grande que les matières seront dans un état de division plus parfaite.

En réfléchissant sur l'appareil des vaisseaux qu'il faudroit employer pour recevoir et recueillir ces vapeurs métalliques, il m'est venu une idée qui me paroît trop utile pour ne la pas publier ; elle est aussi trop aisée à réaliser pour que les bons chimistes ne la saisissent pas : je l'ai même communiquée à quelques uns d'entre eux, qui m'en ont paru très-satisfaits. Cette idée est de geler le mercure dans ce climat-ci, et avec un degré de froid beaucoup moindre que celui des expé-

riences de Pétersbourg ou de Sibérie. Il ne faut pour cela que recevoir la vapeur du mercure, qui est le mercure même volatilisé par une très-médiocre chaleur, dans une cucurbite, ou dans un vase auquel on donnera un certain degré de froid artificiel : ce mercure en vapeur, c'est-à-dire, extrêmement divisé, offrira à l'action de ce froid des surfaces si grandes et des masses si petites, qu'au lieu de 187 degrés de froid qu'il faut pour geler le mercure en masse, il n'en faudroit peut-être que 18 ou 20 degrés, peut-être même moins, pour le geler en vapeurs. Je recommande cette expérience importante à tous ceux qui travaillent de bonne foi à l'avancement des sciences.

Je pourrois ajouter à ces usages principaux du miroir d'Archimède, plusieurs autres usages particuliers ; mais j'ai cru devoir me borner à ceux qui m'ont paru les plus utiles et les moins difficiles à réduire en pratique. Néanmoins je crois devoir joindre ici quelques expériences que j'ai faites sur la transmission de la lumière à travers les corps transparens, et donner en même temps quelques idées nouvelles sur les moyens d'apper-

cevoir de loin les objets à l'œil simple, ou par le moyen d'un miroir semblable à celui dont les anciens ont parlé, par l'effet duquel on appercevoit du port d'Alexandrie les vaisseaux d'aussi loin que la courbure de la terre pouvoit le permettre.

Tous les physiciens savent aujourd'hui qu'il y a trois causes qui empêchent la lumière de se réunir dans un point lorsque ses rayons ont traversé le verre objectif d'une lunette ordinaire. La première est la courbure sphérique de ce verre, qui répand une partie des rayons dans un espace terminé par une courbe. La seconde est l'angle sous lequel nous paroît à l'œil simple l'objet que nous observons; car la largeur du foyer de l'objectif a toujours à très-peu près pour diamètre une ligne égale à la corde de l'arc qui mesure cet angle. La troisième est la différente réfrangibilité de la lumière; car les rayons les plus réfrangibles ne se rassemblent pas dans le même lieu où se rassemblent les rayons les moins réfrangibles.

On peut remédier à l'effet de la première cause, en substituant, comme Descartes l'a proposé, des verres elliptiques ou hyperbo-

liques aux verres sphériques. On remédie à l'effet de la seconde par le moyen d'un second verre placé au foyer de l'objectif, dont le diamètre est à peu près égal à la largeur de ce foyer, et dont la surface est travaillée sur une sphère d'un rayon fort court. On a trouvé de nos jours le moyen de remédier à la troisième, en faisant des lunettes qu'on appelle *achromatiques*, et qui sont composées de deux sortes de verres qui dispersent différemment les rayons colorés, de manière que la dispersion de l'un est corrigée par la dispersion de l'autre, sans que la réfraction générale moyenne, qui constitue la lunette, soit anéantie. Une lunette de trois pieds et demi de longueur, faite sur ce principe, équivaut, pour l'effet, aux anciennes lunettes de vingt-cinq pieds de longueur.

Au reste, le remède à l'effet de la première cause est demeuré tout-à-fait inutile jusqu'à ce jour, parce que l'effet de la dernière, étant beaucoup plus considérable, influe si fort sur l'effet total, qu'on ne pouvoit rien gagner à substituer des verres hyperboliques ou elliptiques à des verres sphé-

riques, et que cette substitution ne pouvoit devenir avantageuse que dans le cas où l'on pourroit trouver le moyen de corriger l'effet de la différente réfrangibilité des rayons de la lumière. Il semble donc qu'aujourd'hui l'on feroit bien de combiner les deux moyens, et de substituer, dans les lunettes achromatiques, des verres elliptiques aux sphériques.

Pour rendre ceci plus sensible, supposons que l'objet qu'on observe soit un point lumineux sans étendue, tel qu'est une étoile fixe par rapport à nous; il est certain qu'avec un objectif, par exemple, de trente pieds de foyer, toutes les images de ce point lumineux s'étendront en forme de courbe au foyer de ce verre s'il est travaillé sur une sphère, et qu'au contraire elles se réuniront en un point si ce verre est hyperbolique : mais si l'objet qu'on observe a une certaine étendue, comme la Lune, qui occupe environ un demi-degré d'espace à nos yeux, alors l'image de cet objet occupera un espace d'environ trois pouces de diamètre au foyer de l'objectif de trente pieds; et l'aberration causée par la sphéricité pro-

duisant une confusion dans un point lumineux quelconque, elle la produit de même sur tous les points lumineux du disque de la Lune, et par conséquent la défigure en entier. Il y auroit donc, dans tous les cas, beaucoup d'avantage à se servir de verres elliptiques ou hyperboliques pour de longues lunettes, puisqu'on a trouvé le moyen de corriger en grande partie le mauvais effet produit par la différente réfrangibilité des rayons.

Il suit de ce que nous venons de dire, que si l'on veut faire une lunette de trente pieds pour observer la Lune et la voir en entier, le verre oculaire doit avoir au moins trois pouces de diamètre pour recueillir l'image entière que produit l'objectif à son foyer, et que si on vouloit observer cet astre avec une lunette de soixante pieds, l'oculaire doit avoir au moins six pouces de diamètre, parce que la corde de l'arc qui mesure l'angle sous lequel nous paroît la Lune, est dans ce cas de trois pouces et de six pouces à peu près; aussi les astronomes ne font jamais usage de lunettes qui renferment le disque entier de la Lune, parce qu'elles grossiroient trop peu : mais si on veut ob-

server Vénus avec une lunette de soixante pieds, comme l'angle sous lequel elle nous paroît n'est que d'environ 60 secondes, le verre oculaire pourra n'avoir que quatre lignes de diamètre ; et si on se sert d'un objectif de cent vingt pieds, un oculaire de huit lignes de diamètre suffiroit pour réunir l'image entière que l'objectif forme à son foyer.

De là on voit que quand même les rayons de lumière seroient également réfrangibles, on ne pourroit pas faire d'aussi fortes lunettes pour voir la Lune en entier que pour voir les autres planètes, et que plus une planète est petite à nos yeux, et plus nous pouvons augmenter la longueur de la lunette avec laquelle on peut la voir en entier. Dès lors on conçoit bien que, dans cette même supposition des rayons également réfrangibles, il doit y avoir une certaine longueur déterminée, plus avantageuse qu'aucune autre pour telle ou telle planète, et que cette longueur de la lunette dépend non seulement de l'angle sous lequel la planète paroît à notre œil, mais encore de la quantité de lumière dont elle est éclairée.

Dans les lunettes ordinaires, les rayons de la lumière étant différemment réfrangibles, tout ce qu'on pourroit faire dans cette vue pour les perfectionner ne seroit pas fort avantageux, parce que, sous quelque angle que paroisse à notre œil l'objet ou l'astre que nous voulons observer, et quelque intensité de lumière qu'il puisse avoir, les rayons ne se rassembleront jamais dans le même endroit : plus la lunette sera longue, plus il y aura d'intervalle * entre le foyer des rayons rouges et celui des rayons violets, et par conséquent plus sera confuse l'image de l'objet observé.

On ne peut donc perfectionner les lunettes par réfraction, qu'en cherchant, comme on l'a fait, les moyens de corriger cet effet de la différente réfrangibilité, soit en composant la lunette de verres de différente densité, soit par d'autres moyens particuliers, et qui seroient différens selon les différens objets et les différentes circonstances. Supposons, par exemple, une courte lunette

* Cet intervalle est d'un pied sur vingt-sept de foyer.

composée de deux verres, l'un convexe et l'autre concave des deux côtés : il est certain que cette lunette peut se réduire à une autre dont les deux verres soient plans d'un côté, et travaillés de l'autre côté sur des sphères dont le rayon seroit une fois plus court que celui des sphères sur lesquelles auroient été travaillés les verres de la première lunette. Maintenant, pour éviter une grande partie de l'effet de la différente réfrangibilité des rayons, on peut faire cette seconde lunette d'une seule pièce de verre massif, comme je l'ai fait exécuter avec deux morceaux de verre blanc, l'un de deux pouces et demi de longueur, et l'autre d'un pouce et demi : mais alors la perte de la transparence est un plus grand inconvénient que celui de la différente réfrangibilité qu'on corrige par ce moyen; car ces deux petites lunettes massives de verre sont plus obscures qu'une petite lunette ordinaire du même verre et des mêmes dimensions : elles donnent, à la vérité, moins d'iris, mais elles n'en sont pas meilleures; et si on les faisoit plus longues, toujours en verre massif, la lumière, après avoir traversé cette épaisseur

de verre, n'auroit plus assez de force pour peindre l'image de l'objet à notre œil. Ainsi, pour faire des lunettes de dix ou vingt pieds, je ne vois que l'eau qui ait assez de transparence pour laisser passer la lumière sans l'éteindre en entier dans cette grande épaisseur : en employant donc de l'eau pour remplir l'intervalle entre l'objectif et l'oculaire, on diminuera en partie l'effet de la différente réfrangibilité *, parce que celle de l'eau approche plus de celle du verre que celle de l'air; et si on pouvoit, en chargeant l'eau de différens sels, lui donner le même degré de puissance réfringente qu'au verre, il n'est

* M. de la Lande, l'un de nos plus savans astronomes, après avoir lu cet article, a bien voulu me communiquer quelques remarques qui m'ont paru très-justes et dont j'ai profité. Seulement je ne suis pas d'accord avec lui sur ces lunettes remplies d'eau; il croit *qu'on diminueroit très-peu la différente réfrangibilité, parce que l'eau disperse les rayons colorés d'une manière différente du verre, et qu'il y auroit des couleurs qui proviendroient de l'eau, et d'autres du verre*. Mais, en se servant du verre le moins dense, et en augmentant, par les sels, la densité de l'eau, on rapprocheroit de très-peu leur puissance réfractive.

pas douteux qu'on ne corrigeât davantage, par ce moyen, l'effet de la différente réfrangibilité des rayons. Il s'agiroit donc d'employer une liqueur transparente qui auroit à peu près la même puissance réfrangible que le verre; car alors il sera sûr que les deux verres, avec cette liqueur entre deux, corrigeront en partie l'effet de la différente réfrangibilité des rayons, de la même façon qu'elle est corrigée dans la petite lunette massive dont je viens de parler.

Suivant les expériences de M. Bouguer, une ligne d'épaisseur de verre détruit $\frac{2}{7}$ de la lumière, et par conséquent la diminution s'en feroit dans la proportion suivante :

Épaisseurs, 1, 2, 3, 4, 5, 6 lignes;
Diminutions, $\frac{2}{7}$, $\frac{10}{49}$ $\frac{50}{343}$ $\frac{250}{2401}$ $\frac{250}{16807}$, $\frac{6250}{117649}$; en sorte que, par la somme de ces six termes, on trouveroit que la lumière, qui passe à travers six lignes de verre, auroit déja perdu $\frac{102024}{117649}$, c'est-à-dire, environ le $\frac{10}{11}$ de sa quantité. Mais il faut considérer que M. Bouguer s'est servi de verres bien peu transparens, puisqu'il a vu qu'une ligne d'épaisseur de ces verres détruisoit $\frac{2}{7}$ de la lumière. Par les expériences que j'ai faites sur différentes

espèces de verre blanc, il m'a paru que la lumière diminuoit beaucoup moins. Voici ces expériences, qui sont assez faciles à faire, et que tout le monde est en état de répéter.

Dans une chambre obscure dont les murs étoient noircis, qui me servoit à faire des expériences d'optique, j'ai fait allumer une bougie de cinq à la livre; la chambre étoit fort vaste, et la lumière de la bougie étoit la seule dont elle fût éclairée. J'ai d'abord cherché à quelle distance je pouvois lire un caractère d'impression, tel que celui de la gazette de Hollande, à la lumière de cette bougie, et j'ai trouvé que je lisois assez facilement ce caractère à vingt-quatre pieds quatre pouces de distance de la bougie. Ensuite, ayant placé devant la bougie, à deux pouces de distance, un morceau de verre provenant d'une glace de Saint-Gobin, réduite à une ligne d'épaisseur, j'ai trouvé que je lisois encore tout aussi facilement à vingt-deux pieds neuf pouces; et en substituant à cette glace d'une ligne d'épaisseur, un autre morceau de deux lignes d'épaisseur et du même verre, j'ai lu aussi facilement à vingt-un pieds de distance de la bougie. Deux de

ces mêmes glaces de deux lignes d'épaisseur jointes l'une contre l'autre et mises devant la bougie, en ont diminué la lumière au point que je n'ai pu lire avec la même facilité qu'à dix-sept pieds et demi de distance de la bougie. Et enfin avec trois glaces de deux lignes d'épaisseur chacune, je n'ai lu qu'à la distance de quinze pieds. Or la lumière de la bougie diminuant comme le quarré de la distance augmente, sa diminution auroit été dans la progression suivante, s'il n'y avoit point eu de glaces interposées.

$$\overline{24\tfrac{1}{3}}^{2}.\quad \overline{22\tfrac{3}{4}}^{2}.\quad \overline{21}^{2}.\quad \overline{17\tfrac{1}{2}}^{2}.\quad \overline{15}^{2}.\quad \text{ou}$$

$$592\tfrac{1}{9}.\quad 517\tfrac{9}{16}.\quad 441.\quad 306\tfrac{1}{4}.\quad 225.$$

Donc les pertes de la lumière, par l'interposition des glaces, sont dans la progression suivante, $84\frac{79}{144}$. 151. $285\frac{7}{9}$. $367\frac{1}{4}$.

D'où l'on doit conclure qu'une ligne d'épaisseur de ce verre ne diminue la lumière que de $\frac{84}{592}$ ou d'environ $\frac{1}{7}$; que deux lignes d'épaisseur la diminuent de $\frac{151}{592}$, pas tout-à-fait de $\frac{1}{4}$; et trois glaces de deux lignes, de $\frac{367}{592}$, c'est-à-dire, moins de $\frac{2}{3}$.

Comme ce résultat est très-différent de celui de M. Bouguer, et que néanmoins je

n'avois garde de douter de la vérité de ses expériences, je répétai les miennes en me servant de verre à vitre commun : je choisis des morceaux d'une épaisseur égale, de trois quarts de ligne chacun. Ayant lu de même à vingt-quatre pieds quatre pouces de distance de la bougie, l'interposition d'un de ces morceaux de verre me fit rapprocher à vingt-un pieds et demi; avec deux morceaux interposés et appliqués l'un sur l'autre, je ne pouvois plus lire qu'à dix-huit pieds un quart, et avec trois morceaux à seize pieds; ce qui, comme l'on voit, se rapproche de la détermination de M. Bouguer; car la perte de la lumière, en traversant ce verre de trois quarts de ligne, étant ici de $592\frac{1}{4} - 462\frac{1}{4} = 130$, le résultat $\frac{130}{592\frac{1}{4}}$, ou $\frac{65}{296}$, ne s'éloigne pas beaucoup de $\frac{3}{14}$, à quoi l'on doit réduire les $\frac{2}{7}$ donnés par M. Bouguer pour une ligne d'épaisseur, parce que mes verres n'avoient que trois quarts de ligne, car $3 : 14 :: 65 : 303\frac{1}{3}$, terme qui ne diffère pas beaucoup de 296.

Mais avec du verre communément appelé *verre de Bohème*, j'ai trouvé, par les mêmes essais, que la lumière ne perdoit qu'un hui-

lième en traversant une épaisseur d'une ligne, et qu'elle diminuoit dans la progression suivante.

Épaisseurs,	1,	2,	3,	4,	5,	6,...n.
Diminutions,	$\frac{1}{8}$.	$\frac{7}{64}$.	$\frac{49}{512}$.	$\frac{343}{4096}$.	$\frac{2401}{32768}$.	$\frac{16807}{262144}$.

ou . . . . $$\frac{7^{0}\ 7^{1}\ 7^{2}\ 7^{3}\ 7^{4}\ 7^{5}\ 7^{n-1}}{8.^{1}\ 8.^{2}\ 8.^{3}\ 8.^{4}\ 8.^{5}\ 8.^{6}\ 8.^{n}}$$

Prenant la somme de ces termes, on aura le total de la diminution de la lumière à travers une épaisseur de verre d'un nombre donné de lignes; par exemple, la somme des six premiers termes est $\frac{144495}{262144}$. Donc la lumière ne diminue que d'un peu plus de moitié en traversant une épaisseur de six lignes de verre de Bohème, et elle en perdroit encore moins, si, au lieu de trois morceaux de deux lignes appliqués l'un sur l'autre, elle n'avoit à traverser qu'un seul morceau de six lignes d'épaisseur.

Avec le verre que j'ai fait fondre en masse épaisse, j'ai vu que la lumière ne perdoit pas plus à travers quatre pouces et demi d'épaisseur de ce verre qu'à travers une glace de Saint-Gobin de deux lignes et demie d'épaisseur; il me semble donc qu'on pourroit en

conclure que la transparence de ce verre étant à celle de cette glace, comme 4 pouces $\frac{1}{2}$ sont à 2 lignes $\frac{1}{2}$, ou 54 à 2 $\frac{1}{2}$, c'est-à-dire, plus de vingt-une fois plus grande, on pourroit faire de très-bonnes petites lunettes massives de cinq ou six pouces de longueur avec ce verre.

Mais pour des lunettes longues, on ne peut employer que de l'eau, et encore est-il à craindre que le même inconvénient ne subsiste; car quelle sera l'opacité qui résultera de cette quantité de liqueur que je suppose remplir l'intervalle entre les deux verres? Plus les lunettes seront longues, et plus on perdra de lumière; en sorte qu'il paroît, au premier coup d'œil, qu'on ne peut pas se servir de ce moyen, sur-tout pour les lunettes un peu longues : car, en suivant ce que dit M. Bouguer dans son *Essai d'optique sur la gradation de la lumière*, neuf pieds sept pouces d'eau de mer font diminuer la lumière dans le rapport de 14 à 5; ou, ce qui revient à peu près au même, supposons que dix pieds d'épaisseur d'eau diminuent la lumière dans le rapport de 3 à 1; alors vingt pieds d'épaisseur d'eau la diminueront dans le rapport de 9 à 1; trente pieds la diminue-

ront dans celui de 27 à 1, etc. Il paroît donc qu'on ne pourroit se servir de ces longues lunettes pleines d'eau que pour observer le Soleil, et que les autres astres n'auroient pas assez de lumière pour qu'il fût possible de les appercevoir à travers une épaisseur de vingt à trente pieds de liqueur intermédiaire.

Cependant, si l'on fait attention qu'en ne donnant qu'un pouce ou un pouce et demi d'ouverture à un objectif de trente pieds, on ne laisse pas d'appercevoir très-nettement les planètes dans les lunettes ordinaires de cette longueur, on doit penser qu'en donnant un plus grand diamètre à l'objectif, on augmenteroit la quantité de lumière dans la raison du quarré de ce diamètre, et par conséquent, si un pouce d'ouverture suffit pour voir distinctement un astre dans une lunette ordinaire, $\sqrt{3}$ pouces d'ouverture, c'est-à-dire, vingt-une lignes environ de diamètre, suffiront pour qu'on le voie aussi distinctement à travers une épaisseur de dix pieds d'eau; et qu'avec un verre de trois pouces de diamètre, on le verroit également à travers une épaisseur de vingt pieds d'eau; qu'avec un verre de $\sqrt{27}$ ou 5 pouces $\frac{1}{4}$ de diamètre,

on le verroit à travers une épaisseur de trente pieds, et qu'il ne faudroit qu'un verre de neuf pouces de diamètre pour une lunette remplie de quarante pieds d'eau, et un verre de vingt-sept pouces pour une lunette de soixante pieds.

Il semble donc qu'on pourroit, avec espérance de réussir, faire construire une lunette sur ces principes; car, en augmentant le diamètre de l'objectif, on regagne en partie la lumière que l'on perd par le défaut de transparence de la liqueur.

On ne doit pas craindre que les objectifs, quelque grands qu'ils soient, fassent une trop grande partie de la sphère sur laquelle ils seront travaillés, et que par cette raison les rayons de la lumière ne puissent se réunir exactement; car, en supposant même ces objectifs sept ou huit fois plus grands que je ne les ai déterminés, ils ne feroient pas encore à beaucoup près une assez grande partie de leur sphère pour ne pas réunir les rayons avec exactitude.

Mais ce qui ne me paroît pas douteux, c'est qu'une lunette construite de cette façon seroit très-utile pour observer le Soleil; car,

en la supposant même longue de cent pieds, la lumière de cet astre ne seroit encore que trop forte après avoir traversé cette épaisseur d'eau, et on observeroit à loisir et aisément la surface de cet astre immédiatement, sans qu'il fût nécessaire de se servir de verres enfumés ou d'en recevoir l'image sur un carton, avantage qu'aucune autre espèce de lunette ne peut avoir.

Il y auroit seulement quelque petite différence dans la construction de cette lunette solaire, si l'on veut qu'elle nous présente la face entière du Soleil; car, en la supposant longue de cent pieds, il faudra, dans ce cas, que le verre oculaire ait au moins dix pouces de diamètre, parce que le Soleil occupant plus d'un demi-degré céleste, l'image formée par l'objectif à son foyer à cent pieds, aura au moins cette longueur de dix pouces, et que, pour la réunir toute entière, il faudra un oculaire de cette largeur auquel on ne donneroit que vingt pouces de foyer pour le rendre aussi fort qu'il se pourroit. Il faudroit aussi que l'objectif, ainsi que l'oculaire, eût dix pouces de diamètre, afin que l'image de l'astre et l'image de l'ouverture de la lunette

se trouvassent d'égale grandeur au foyer.

Quand même cette lunette que je propose ne serviroit qu'à observer exactement le Soleil, ce seroit déja beaucoup : il seroit, par exemple, fort curieux de pouvoir reconnoître s'il y a dans cet astre des parties plus ou moins lumineuses que d'autres; s'il y a sur sa surface des inégalités, et de quelle espèce elles seroient; si les taches flottent sur sa surface *, ou si elles y sont toutes constamment attachées, etc. La vivacité de sa lumière nous empêche de l'observer à l'œil simple, et la différente réfrangibilité de ses rayons rend son image confuse lorsqu'on la reçoit

* M. de la Lande m'a fait sur ceci la remarque qui suit : « Il est constant, dit-il, qu'il n'y a sur le « Soleil que des taches qui changent de forme et dis- « paroissent entièrement, mais qui ne changent point « de place, si ce n'est par la rotation du Soleil ; sa « surface est très-unie et homogène ». Ce savant astronome pouvoit même ajouter que ce n'est que par le moyen de ces taches, toujours supposées fixes, qu'on a déterminé le temps de la révolution du Soleil sur son axe : mais ce point d'astronomie physique ne me paroît pas encore absolument démontré ; car ces taches, qui toutes changent de figure, pourroient bien aussi quelquefois changer de lieu.

au foyer d'un objectif sur un carton ; aussi la surface du Soleil nous est-elle moins connue que celle des autres planètes. Cette différente réfrangibilité des rayons ne seroit pas à beaucoup près entièrement corrigée dans cette longue lunette remplie d'eau : mais si cette liqueur pouvoit, par l'addition des sels, être rendue aussi dense que le verre, ce seroit alors la même chose que s'il n'y avoit qu'un seul verre à traverser, et il me semble qu'il y auroit plus d'avantage à se servir de ces lunettes remplies d'eau que de lunettes ordinaires avec des verres enfumés.

Quoi qu'il en soit, il est certain qu'il faut, pour observer le Soleil, une lunette bien différente de celles dont on doit se servir pour les autres astres ; et il est encore très-certain qu'il faut, pour chaque planète, une lunette particulière et proportionnée à leur intensité de lumière, c'est-à-dire, à la quantité réelle de lumière dont elles nous paroissent éclairées. Dans toutes les lunettes, il faudroit donc l'objectif aussi grand et l'oculaire aussi fort qu'il est possible, et en même temps proportionner la distance du foyer à l'intensité de la lumière de chaque planète. Par

exemple, Vénus et Saturne sont deux planètes dont la lumière est fort différente ; lorsqu'on les observe avec la même lunette, on augmente également l'angle sous lequel on les voit : dès lors la lumière totale de la planète paroît s'étendre sur toute sa surface d'autant plus qu'on la grossit davantage ; ainsi, à mesure qu'on agrandit son image, on la rend sombre, à peu près dans la proportion du quarré de son diamètre : Saturne ne peut donc, sans devenir obscur, être observé avec une lunette aussi forte que Vénus. Si l'intensité de lumière de celle-ci permet de la grossir cent ou deux cents fois avant de devenir sombre, l'autre ne souffrira peut-être pas la moitié ou le tiers de cette augmentation sans devenir tout-à-fait obscure. Il s'agit donc de faire une lunette pour chaque planète, proportionnée à leur intensité de lumière ; et, pour le faire avec plus d'avantage, il me semble qu'il n'y faut employer qu'un objectif d'autant plus grand, et d'un foyer d'autant moins long, que la planète a moins de lumière. Pourquoi, jusqu'à ce jour, n'a-t-on pas fait des objectifs de deux ou trois pieds de diamètre ? L'aberration des

rayons, causée par la sphéricité des verres, en est la seule cause; elle produit une confusion qui est comme le quarré du diamètre de l'ouverture : et c'est par cette raison que les verres sphériques, qui sont très-bons avec une petite ouverture, ne valent plus rien quand on l'augmente; on a plus de lumière, mais moins de distinction et de netteté. Néanmoins les verres sphériques larges sont très-bons pour faire des lunettes de nuit; les Anglois ont construit des lunettes de cette espèce, et ils s'en servent avec grand avantage pour voir de fort loin les vaisseaux dans une nuit obscure. Mais maintenant que l'on sait corriger en grande partie les effets de la différente réfrangibilité des rayons, il me semble qu'il faudroit s'attacher à faire des verres elliptiques ou hyperboliques, qui ne produiroient pas cette aberration causée par la sphéricité, et qui par conséquent pourroient être trois ou quatre fois plus larges que les verres sphériques. Il n'y a que ce moyen d'augmenter à nos yeux la quantité de lumière que nous envoient les planètes; car nous ne pouvons pas porter sur les planètes une lumière additionnelle, comme nous le faisons sur les

objets que nous observons au microscope; mais il faut au moins employer le plus avantageusement qu'il est possible, la quantité de lumière dont elles sont éclairées, en la recevant sur une surface aussi grande qu'il se pourra. Cette lunette hyperbolique, qui ne seroit composée que d'un seul grand verre objectif et d'un oculaire proportionné, exigeroit une matière de la plus grande transparence ; on réuniroit par ce moyen tous les avantages possibles, c'est-à-dire, ceux des lunettes achromatiques à celui des lunettes elliptiques ou hyperboliques, et l'on mettroit à profit toute la quantité de lumière que chaque planète réfléchit à nos yeux. Je puis me tromper; mais ce que je propose me paroît assez fondé pour en recommander l'exécution aux personnes zélées pour l'avancement des sciences.

Me laissant aller à ces espèces de rêveries, dont quelques unes néanmoins se réaliseront un jour, et que je ne publie que dans cette espérance, j'ai songé au miroir du port d'Alexandrie, dont quelques auteurs anciens ont parlé, et par le moyen duquel on voyoit de très-loin les vaisseaux en pleine mer. Le

passage le plus positif qui me soit tombé sous les yeux, est celui que je vais rapporter : *Alexandria... in Pharo verò erat speculum è ferro* sinico, *per quod à longè videbantur naves Græcorum advenientes; sed paulò postquam islamismus invaluit, scilicet tempore califatûs Validi, filii Abdulmelec, Christiani, fraude adhibitâ, illud deleverunt* *.

J'ai pensé, 1°. que ce miroir par lequel on voyoit de loin les vaisseaux arriver, n'étoit pas impossible ; 2°. que même, sans miroir ni lunette, on pourroit, par de certaines dispositions, obtenir le même effet, et voir depuis le port les vaisseaux peut-être d'aussi loin que la courbure de la Terre le permet. Nous avons dit que les personnes qui ont bonne vue, apperçoivent les objets éclairés par le Soleil à plus de trois mille quatre cents fois leur diamètre, et en même temps nous avons remarqué que la lumière intermédiaire nuisoit si fort à celle des objets éloignés, qu'on appercevoit la nuit un objet lumineux de dix, vingt et peut-être cent fois plus de distance qu'on ne le voit pendant le jour.

* Abulfeda, etc., *Descriptio Ægypti.*

Nous savons que du fond d'un puits très-profond l'on voit des étoiles en plein jour * : pourquoi donc ne verroit-on pas de même les vaisseaux éclairés des rayons du Soleil, en se mettant au fond d'une longue galerie fort obscure, et située sur le bord de la mer, de manière qu'elle ne recevroit aucune lumière que celle de la mer lointaine et des vaisseaux qui pourroient s'y trouver ? Cette galerie n'est qu'un puits horizontal qui feroit le même effet pour la vue des vaisseaux, que le puits vertical pour la vue des étoiles ; et cela me paroît si simple, que je suis étonné qu'on n'y ait pas songé. Il me semble qu'en prenant, pour faire l'observation, les heures du jour où le Soleil seroit derrière la galerie, c'est-à-dire, le temps où les vaisseaux seroient bien éclairés, on les verroit du fond de cette galerie obscure, dix fois au moins mieux qu'on ne peut les voir en pleine lumière. Or, comme nous l'avons dit, on distingue aisément un homme ou un cheval à une lieue de distance, lorsqu'ils sont éclairés des rayons

* Aristote est, je crois, le premier qui ait fait mention de cette observation, et j'en ai cité le passage à l'article *du Sens de la Vue*.

du Soleil; et en supprimant la lumière intermédiaire qui nous environne et offusque nos yeux, nous les verrions au moins dix fois plus loin, c'est-à-dire, à dix lieues : donc on verroit les vaisseaux, qui sont beaucoup plus gros, d'aussi loin que la courbure de la Terre le permettroit *, sans autre instrument que nos yeux.

Mais un miroir concave d'un assez grand diamètre et d'un foyer quelconque, placé au fond d'un long tuyau noirci, feroit pendant le jour à peu près le même effet que nos grands objectifs de même diamètre et de même foyer feroient pendant la nuit ; et c'étoit probablement un de ces miroirs con-

* La courbure de la Terre pour un degré, ou vingt-cinq lieues de 2283 toises, est de 2988 pieds; elle croît comme le quarré des distances : ainsi, pour cinq lieues, elle est vingt-cinq fois moindre, c'est-à-dire, d'environ cent vingt pieds. Un vaisseau qui a plus de cent vingt pieds de mâture, peut donc être vu de cinq lieues, étant même au niveau de la mer; mais si l'on s'élevoit de cent vingt pieds au-dessus du niveau de la mer, on verroit de cinq lieues le corps entier du vaisseau jusqu'à la ligne de l'eau, et, en s'élevant encore davantage, on pourroit appercevoir le haut des mâts de plus de dix lieues.

caves d'acier poli (*è ferro sinico*) qu'on avoit établi au port d'Alexandrie * pour voir de loin arriver les vaisseaux grecs. Au reste, si ce miroir d'acier ou de fer poli a réellement existé, comme il y a toute apparence, on ne peut refuser aux anciens la gloire de la première invention des télescopes; car ce miroir de métal poli ne pouvoit avoir d'effet qu'autant que la lumière réfléchie par sa surface étoit recueillie par un autre miroir concave placé à son foyer; et c'est en cela que consistent l'essence du télescope et la facilité de sa construction. Néanmoins cela n'ôte rien à la gloire du grand Newton, qui, le premier, a ressuscité cette invention, entièrement oubliée : il paroît même que ce sont ses belles découvertes sur la différente réfrangibilité des rayons de la lumière, qui l'ont conduit à celle du télescope. Comme les rayons de la lumière sont, par leur nature, différemment réfrangibles, il étoit fondé à croire qu'il n'y avoit nul moyen de corriger

* De temps immémorial, les Chinois, et surtout les Japonois, savent travailler et polir l'acier en grand et petit volume; et c'est ce qui m'a fait penser qu'on doit interpréter *è ferro sinico*, par *acier poli*.

cet effet; ou s'il a entrevu ces moyens, il les a jugés si difficiles, qu'il a mieux aimé tourner ses vues d'un autre côté, et produire par le moyen de la réflexion des rayons les grands effets qu'il ne pouvoit obtenir par leur réfraction. Il a donc fait construire son télescope, dont l'effet est réellement bien supérieur à celui des lunettes ordinaires; mais les lunettes achromatiques, inventées de nos jours, sont aussi supérieures au télescope qu'il l'est aux lunettes ordinaires. Le meilleur télescope est toujours sombre en comparaison de la lunette achromatique, et cette obscurité dans les télescopes ne vient pas seulement du défaut de poli ou de la couleur du métal des miroirs, mais de la nature même de la lumière, dont les rayons, différemment réfrangibles, sont aussi différemment réflexibles, quoiqu'en degrés beaucoup moins inégaux. Il reste donc, pour perfectionner les télescopes autant qu'ils peuvent l'être, à trouver le moyen de compenser cette différente réflexibilité, comme l'on a trouvé celui de compenser la différente réfrangibilité.

Après tout ce qui vient d'être dit, je crois qu'on sentira bien que l'on peut faire une

très-bonne lunette de jour sans employer ni verres ni miroirs, et simplement en supprimant la lumière environnante, au moyen d'un tuyau de cent cinquante ou deux cents pieds de long, et en se plaçant dans un lieu obscur où aboutiroit l'une des extrémités de ce tuyau. Plus la lumière du jour seroit vive, plus seroit grand l'effet de cette lunette si simple et si facile à exécuter. Je suis persuadé qu'on verroit distinctement à quinze et peut-être vingt lieues les bâtimens et les arbres sur le haut des montagnes. La seule différence qu'il y ait entre ce long tuyau et la galerie obscure que j'ai proposée, c'est que le *champ*, c'est-à-dire l'espace vu, seroit bien plus petit, et précisément dans la raison du quarré de l'ouverture du tuyau à celle de la galerie.

ARTICLE TROISIÈME.

Invention d'autres miroirs pour brûler à de moindres distances.

I.

Miroirs d'une seule pièce à foyer mobile.

J'AI remarqué que le verre fait ressort, et qu'il peut plier jusqu'à un certain point; et comme, pour brûler à des distances un peu grandes, il ne faut qu'une légère courbure, et que toute courbure régulière y est à peu près également convenable, j'ai imaginé de prendre des glaces de miroir ordinaire, d'un pied et demi, de deux pieds et trois pieds de diamètre, de les faire arrondir, et de les soutenir sur un cercle de fer bien égal et bien tourné, après avoir fait dans le centre de la glace un trou de deux ou trois lignes de diamètre pour y passer une vis * dont les pas sont très-fins, et qui entre dans un petit écrou posé de l'autre côté de la glace. En serrant cette vis, j'ai courbé assez les glaces de trois

* Voyez les planches X, XI et XII.

pieds pour brûler depuis cinquante pieds jusqu'à trente, et les glaces de dix-huit pouces ont brûlé à vingt-cinq pieds; mais ayant répété plusieurs fois ces expériences, j'ai cassé les glaces de trois pieds et de deux pieds, et il ne m'en reste qu'une de dix-huit pouces, que j'ai gardée pour modèle de ce miroir *.

Ce qui fait casser ces glaces si aisément, c'est le trou qui est au milieu; elles se courberoient beaucoup plus sans rompre s'il n'y avoit point de solution de continuité, et qu'on pût les presser également sur toute la surface. Cela m'a conduit à imaginer de les faire courber par le poids même de l'atmosphère; et pour cela il ne faut que mettre une glace circulaire sur une espèce de tambour de fer ou de cuivre, et ajouter à ce tambour une pompe pour en tirer de l'air : on fera de cette manière courber la glace plus ou moins, et

* Ces glaces de trois pieds ont mis le feu à des matières légères jusqu'à cinquante pieds de distance, et alors elles n'avoient plié que d'une ligne $\frac{5}{8}$: pour brûler à quarante pieds, il falloit les faire plier de deux lignes; pour brûler à trente pieds, de deux lignes $\frac{3}{4}$; et c'est en voulant les faire brûler à vingt pieds qu'elles se sont cassées.

par conséquent elle brûlera à de plus et moins grandes distances.

Il y auroit encore un autre moyen : ce seroit d'ôter l'étamage dans le centre de la glace, de la largeur de neuf ou dix lignes, façonner avec une molette cette partie du centre en portion de sphère, comme un verre convexe d'un pouce de foyer, mettre dans le tambour une petite mèche soufrée; il arriveroit que quand on présenteroit ce miroir au Soleil, les rayons transmis à travers cette partie du centre de la glace et réunis au foyer d'un pouce, allumeroient la mèche soufrée dans le tambour; cette mèche en brûlant absorberoit de l'air, et par conséquent le poids de l'atmosphère feroit plier la glace plus ou moins, selon que la mèche soufrée brûleroit plus ou moins de temps. Ce miroir seroit fort singulier, parce qu'il se courberoit de lui-même à l'aspect du Soleil sans qu'il fût nécessaire d'y toucher; mais l'usage n'en seroit pas facile, et c'est pour cette raison que je ne l'ai pas fait exécuter, la seconde manière étant préférable à tous égards.

Ces miroirs d'une seule pièce à foyer mobile peuvent servir à mesurer plus exacte-

ment que par aucun autre moyen, la différence des effets de la chaleur du Soleil reçue dans des foyers plus ou moins grands. Nous avons vu que les grands foyers font toujours proportionnellement beaucoup plus d'effet que les petits, quoique l'intensité de chaleur soit égale dans les uns et les autres: on auroit ici, en contractant successivement les foyers, toujours une égale quantité de lumière ou de chaleur, mais dans des espaces successivement plus petits; et au moyen de cette quantité constante, on pourroit déterminer, par l'expérience, le *minimum* de l'espace du foyer, c'est-à-d'ire, létendue nécessaire pour qu'avec la même quantité de lumière on eût le plus grand effet: cela nous conduiroit en même temps à une estimation plus précise de la déperdition de la chaleur dans les différentes substances, sous un même volume ou dans une égale étendue.

A cet usage près, il m'a paru que ces miroirs d'une seule pièce à foyer mobile étoient plus curieux qu'utiles; celui qui agit seul et se courbe à l'aspect du Soleil, est assez ingénieusement conçu pour avoir place dans un cabinet de physique.

I I.

Miroirs d'une seule pièce pour brûler très-vivement à des distances médiocres et à de petites distances.

J'ai cherché les moyens de courber régulièrement de grandes glaces ; et, après avoir fait construire deux fourneaux différens qui n'ont pas réussi, je suis parvenu à en faire un troisième *, dans lequel j'ai courbé très-régulièrement des glaces circulaires de trois, quatre et quatre pieds et demi de diamètre ; j'en ai même fait courber deux de cinquante-six pouces : mais quelque précaution qu'on ait prise pour laisser refroidir lentement ces grandes glaces de cinquante-six et cinquante-quatre pouces de diamètre, et pour les manier doucement, elles se sont cassées en les appliquant sur les moules sphériques que j'avois fait construire pour leur donner la forme régulière et le poli nécessaire ; la même chose est arrivée à trois autres glaces de quarante-huit et cinquante pouces de diamètre, et je n'en ai conservé qu'une seule de

* Voyez les planches I, II, III, IV, V et VI.

quarante-six pouces et deux de trente-sept pouces. Les gens qui connoissent les arts n'en seront pas surpris : ils savent que les grandes pièces de verre exigent des précautions infinies pour ne pas se fêler au sortir du fourneau où on les laisse recuire et refroidir; ils savent que plus elles sont minces, et plus elles sont sujettes à se fendre, non seulement par le premier coup de l'air, mais encore par ses impressions ultérieures. J'ai vu plusieurs de mes glaces courbées se fendre toutes seules au bout de trois, quatre et cinq mois, quoiqu'elles eussent résisté aux premières impressions de l'air, et qu'on les eût placées sur des moules de plâtre bien séché, sur lesquels la surface concave de ces glaces portoit également par-tout; mais ce qui m'en a fait perdre un grand nombre, c'est le travail qu'il falloit faire pour leur donner une forme régulière. Ces glaces, que j'ai achetées toutes polies à la manufacture du fauxbourg Saint-Antoine, quoique choisies parmi les plus épaisses, n'avoient que cinq lignes d'épaisseur : en les courbant, le feu leur faisoit perdre en partie leur poli. Leur épaisseur d'ailleurs n'étoit pas bien égale par-tout, et

néanmoins il étoit nécessaire, pour l'objet auquel je les destinois, de rendre les deux surfaces concave et convexe parfaitement concentriques, et par conséquent de les travailler avec des molettes convexes dans des moules creux, et des molettes concaves sur des moules convexes. De vingt-quatre glaces que j'avois courbées, et dont j'en avois livré quinze à feu M. Passemant pour les faire travailler par ses ouvriers, je n'en ai conservé que trois; toutes les autres, dont les moindres avoient au moins trois pieds de diamètre, se sont cassées, soit avant d'être travaillées, soit après. De ces trois glaces que j'ai sauvées, l'une a quarante-six pouces de diamètre, et les deux autres trente-sept pouces : elles étoient bien travaillées, leurs surfaces bien concentriques, et par conséquent l'épaisseur bien égale; il ne s'agissoit plus que de les étamer sur leur surface convexe, et je fis pour cela plusieurs essais et un assez grand nombre d'expériences qui ne me réussirent point. M. de Bernières, beaucoup plus habile que moi dans cet art de l'étamage, vint à mon secours, et me rendit en effet deux de mes glaces étamées; j'eus

l'honneur d'en présenter au roi la plus grande, c'est-à-dire, celle de quarante-six pouces, et de faire devant sa majesté les expériences de la force de ce miroir ardent qui fond aisément tous les métaux; on l'a déposé au château de la Muette, dans un cabinet qui est sous la direction du P. Noël: c'est certainement le plus fort miroir ardent qu'il y ait en Europe *. J'ai déposé au Jardin du roi, dans le Cabinet d'histoire naturelle, la glace de trente-sept pouces de diamètre, dont le foyer est beaucoup plus court que celui du miroir de quarante-six pouces. Je n'ai pas encore eu le temps d'essayer la force de ce second miroir, que je crois aussi très-bon. Je fis dans le temps quelques expériences au château de la Muette, sur la lumière de la Lune, reçue par le miroir de quarante-six pouces, et réfléchie sur un thermomètre très-sensible : je crus d'abord m'appercevoir de quelque mouvement; mais

* On m'a dit que l'étamage de ce miroir, qui a été fait il y a plus de vingt ans, s'étoit gâté : il faudroit le remettre entre les mains de M. de Bernières, qui seul a le secret de cet étamage, pour le bien réparer.

cet effet ne se soutint pas, et depuis je n'ai pas eu occasion de répéter l'expérience. Je ne sais même si l'on obtiendroit un degré de chaleur sensible en réunissant les foyers de plusieurs miroirs, et les faisant tomber ensemble sur un thermomètre applati et noirci; car il se peut que la Lune nous envoie du froid plutôt que du chaud, comme nous l'expliquerons ailleurs. Du reste ces miroirs sont supérieurs à tous les miroirs de réflexion dont on avoit connoissance : ils servent aussi à voir en grand les petits tableaux, et à en distinguer toutes les beautés et tous les défauts; et si on en fait étamer de pareils dans leur concavité, ce qui seroit bien plus aisé que sur la convexité, ils serviroient à voir les plafonds et autres peintures qui sont trop grandes et trop perpendiculaires sur la tête pour pouvoir être regardées aisément.

Mais ces miroirs ont l'inconvénient commun à tous les miroirs de ce genre, qui est de brûler en haut; ce qui fait qu'on ne peut travailler de suite à leur foyer, et qu'ils deviennent presque inutiles pour toutes les expériences qui demandent une longue action du feu et des opérations suivies. Néanmoins,

en recevant d'abord les rayons du Soleil sur une glace plane de quatre pieds et demi de hauteur et d'autant de largeur qui les réfléchit contre ces miroirs concaves, ils sont assez puissans pour que cette perte, qui est de la moitié de la chaleur, ne les empêche pas de brûler très-vivement à leur foyer, qui par ce moyen se trouve en bas comme celui des miroirs de réfraction, et auquel par conséquent on pourroit travailler de suite et avec une égale facilité; seulement il seroit nécessaire que la glace plane et le miroir concave fussent tous deux montés parallèlement sur un même support, où ils pourroient recevoir également les mêmes mouvemens de direction et d'inclinaison, soit horizontalement, soit verticalement. L'effet que le miroir de quarante-six pouces de diamètre feroit en bas, n'étant que de moitié de celui qu'il produit en haut, c'est comme si la surface de ce miroir étoit réduite de moitié, c'est-à-dire, comme s'il n'avoit qu'un peu plus de trente-deux pouces de diamètre au lieu de quarante-six; et cette dimension de trente-deux pouces de diamètre pour un foyer de six pieds ne laisse pas de

donner une chaleur plus grande que celle des lentilles de Tschirnaüs ou du sieur Segard, dont je me suis autrefois servi, et qui sont les meilleures que l'on connoisse.

Enfin, par la réunion de ces deux miroirs, on auroit aux rayons du Soleil une chaleur immense à leur foyer commun, sur-tout en le recevant en haut, qui ne seroit diminuée que de moitié en le recevant en bas, et qui par conséquent seroit beaucoup plus grande qu'aucune autre chaleur connue, et pourroit produire des effets dont nous n'avons aucune idée.

I I I.

Lentilles ou miroirs à l'eau.

Au moyen des glaces courbées et travaillées régulièrement dans leur concavité et sur leur convexité, on peut faire un miroir réfringent, en joignant par opposition deux de ces glaces, et en remplissant d'eau tout l'espace qu'elles contiennent.

Dans cette vue, j'ai fait courber deux glaces de trente-sept pouces de diamètre, et les ai fait user de huit ou neuf lignes sur les bords pour les bien joindre. Par ce moyen,

l'on n'aura pas besoin de mastic pour empêcher l'eau de fuir.

Au zénith du miroir il faut pratiquer un petit goulot *, par lequel on en remplira la capacité avec un entonnoir; et comme les vapeurs de l'eau échauffée par le Soleil pourroient faire casser les glaces, on laissera ce goulot ouvert pour laisser échapper les vapeurs; et afin de tenir le miroir toujours absolument plein d'eau, on ajustera dans ce goulot une petite bouteille pleine d'eau, et cette bouteille finira elle-même en haut par un goulot étroit, afin que, dans les différentes inclinaisons du miroir, l'eau qu'elle contiendra ne puisse pas se répandre en trop grande quantité.

Cette lentille composée de deux glaces de trente-sept pouces, chacune de deux pieds et demi de foyer, brûleroit à cinq pieds, si elle étoit de verre : mais l'eau ayant une moindre réfraction que le verre, le foyer sera plus éloigné; il ne laissera pas néanmoins de brûler vivement : j'ai supputé qu'à la distance de cinq pieds et demi cette len-

* Voyez la planche XII.

tille à l'eau produiroit au moins deux fois autant de chaleur que la lentille du Palais-Royal, qui est de verre solide, et dont le foyer est à douze pieds.

J'avois conservé une assez forte épaisseur aux glaces, afin que le poids de l'eau qu'elles devoient renfermer ne pût en altérer la courbure : on pourroit essayer de rendre l'eau plus réfringente en y faisant fondre des sels ; comme l'eau peut successivement fondre plusieurs sels, et s'en charger en plus grande quantité qu'elle ne se chargeroit d'un seul sel, il faudroit en fondre de plusieurs espèces, et on rendroit par ce moyen la réfraction de l'eau plus approchante de celle du verre.

Tel étoit mon projet : mais, après avoir travaillé et ajusté ces glaces de trente-sept pouces, celle du dessous s'est cassée dès la première expérience ; et comme il ne m'en restoit qu'une, j'en ai fait le miroir concave de trente-sept pouces dont j'ai parlé dans l'article précédent.

Ces loupes composées de deux glaces sphériquement courbées et remplies d'eau brûleront en bas, et produiront de plus grands

effets que les loupes de verre massif, parce que l'eau laisse passer plus aisément la lumière que le verre le plus transparent ; mais l'exécution ne laisse pas d'en être difficile, et demande des attentions infinies. L'expérience m'a fait connoître qu'il falloit des glaces épaisses de neuf ou huit lignes au moins, c'est-à-dire, des glaces faites exprès : car on n'en coule point aux manufactures d'aussi épaisses à beaucoup près ; toutes celles qui sont dans le commerce n'ont qu'environ moitié de cette épaisseur. Il faut ensuite courber ces glaces dans un fourneau pareil à celui dont j'ai donné la figure *planche Ire et suivantes ;* avoir attention de bien sécher le fourneau, de ne pas presser le feu, et d'employer au moins trente heures à l'opération. La glace se ramollira et pliera par son poids sans se dissoudre, et s'affaissera sur le moule concave qui lui donnera sa forme. On la laissera recuire et refroidir par degrés dans ce fourneau, qu'on aura soin de boucher au moment qu'on aura vu la glace bien affaissée par-tout également. Deux jours après, lorsque le fourneau aura perdu toute sa chaleur, on en tirera la glace, qui ne sera que légère-

ment dépolie; on examinera avec un grand compas courbe, si son épaisseur est à peu près égale par-tout; et si cela n'étoit pas, et qu'il y eût dans de certaines parties de la glace une inégalité sensible, on commencera par l'atténuer avec une molette de même sphère que la courbure de la glace. On continuera de travailler de même les deux surfaces concave et convexe, qu'il faut rendre parfaitement concentriques, en sorte que la glace ait par-tout exactement la même épaisseur; et pour parvenir à cette précision, qui est absolument nécessaire, il faudra faire courber de plus petites glaces de deux ou trois pieds de diamètre, en observant de faire ces petits moules sur un rayon de quatre ou cinq lignes plus long que ceux du foyer de la grande glace. Par ce moyen, on aura des glaces courbes dont on se servira, au lieu de molettes, pour travailler les deux surfaces concave et convexe, ce qui avancera beaucoup le travail : car ces petites glaces, en frottant contre la grande, l'useront, et s'useront également; et comme leur courbure est plus forte de quatre lignes, c'est-à-dire, de moitié de l'épaisseur de la grande glace,

le travail de ces petites glaces, tant au dedans qu'au dehors, rendra concentriques les deux surfaces de la grande glace aussi précisément qu'il est possible. C'est là le point le plus difficile ; et j'ai souvent vu que, pour l'obtenir, on étoit obligé d'user la glace de plus d'une ligne et demie sur chaque surface ; ce qui la rendoit trop mince, et dès lors inutile, du moins pour notre objet. Ma glace de trente-sept pouces que le poids de l'eau, joint à la chaleur du Soleil, a fait casser, avoit néanmoins, toute travaillée, plus de trois lignes et demie d'épaisseur ; et c'est pour cela que je recommande de les tenir encore plus épaisses.

J'ai observé que ces glaces courbées sont plus cassantes que les glaces ordinaires ; la seconde fusion ou demi-fusion que le verre éprouve pour se courber, est peut-être la cause de cet effet, d'autant que, pour prendre la forme sphérique, il est nécessaire qu'il s'étende inégalement dans chacune de ses parties, et que leur adhérence entre elles change dans des proportions inégales, et même différentes pour chaque point de la courbe, relativement au plan horizontal de la glace,

qui s'abaisse successivement pour prendre la courbure sphérique.

En général, le verre a du ressort, et peut plier sans se casser, d'environ un pouce par pied, sur-tout quand il est mince; je l'ai même éprouvé sur des glaces de deux et trois lignes d'épaisseur, et de cinq pieds de hauteur : on peut les faire plier de plus de quatre pouces sans les rompre, sur-tout en ne les comprimant qu'en un sens; mais si on les courbe en deux sens à la fois, comme pour produire une surface sphérique, elles cassent à moins d'un demi-pouce par pied sous cette double flexion. La glace inférieure de ces lentilles à l'eau obéissant donc à la pression causée par le poids de l'eau, elle cassera ou prendra une plus forte courbure, à moins qu'elle ne soit fort épaisse, ou qu'elle ne soit soutenue par une croix de fer; ce qui fait ombre au foyer, et rend désagréable l'aspect de ce miroir. D'ailleurs le foyer de ces lentilles à l'eau n'est jamais franc, ni bien terminé, ni réduit à sa plus petite étendue; les différentes réfractions que souffre la lumière en passant du verre dans l'eau, et de l'eau dans le verre, causent une aber-

ration des rayons beaucoup plus grande qu'elle ne l'est par une réfraction simple dans les loupes de verre massif. Tous ces inconvéniens m'ont fait tourner mes vues sur les moyens de perfectionner les lentilles de verre, et je crois avoir enfin trouvé tout ce qu'on peut faire de mieux en ce genre, comme je l'expliquerai dans les paragraphes suivans.

Avant de quitter les lentilles à l'eau, je crois devoir encore proposer un moyen de construction nouvelle qui seroit sujette à moins d'inconvéniens, et dont l'exécution seroit assez facile. Au lieu de courber, travailler et polir de grandes glaces de quatre ou cinq pieds de diamètre, il ne faudroit que de petits morceaux quarrés de deux pouces, qui ne coûteroient presque rien, et les placer dans un châssis de fer traversé de verges minces de ce même métal et ajustées comme les vitres en plomb. Ce châssis et ces verges de fer, auxquelles on donneroit la courbure sphérique et quatre pieds de diamètre, contiendroit chacun trois cent quarante-six de ces petits morceaux de deux pouces; et en laissant quarante-six pour l'équivalent de l'espace que prendroient les verges de fer, il

y auroit toujours trois cents disques du Soleil qui coïncideroient au même foyer, que je suppose à dix pieds; chaque morceau laisseroit passer un disque de deux pouces de diamètre, auquel ajoutant la lumière des parties du quarré circonscrit à ce cercle de deux pouces de diamètre, le foyer n'auroit à dix pieds que deux pouces et demi ou deux pouces trois quarts, si la monture de ces petites glaces étoit régulièrement exécutée. Or, en diminuant la perte que souffre la lumière en passant à travers l'eau et les doubles verres qui la contiennent, et qui seroit ici à peu près de moitié, on auroit encore au foyer de ce miroir, tout composé de facettes planes, une chaleur cent cinquante fois plus grande que celle du Soleil. Cette construction ne seroit pas chère, et je n'y vois d'autre inconvénient que la fuite de l'eau, qui pourroit percer par les joints des verges de fer qui soutiendroient les petits trapèzes de verre. Il faudroit prévenir cet inconvénient en pratiquant de petites rainures de chaque côté dans ces verges, et enduire ces rainures de mastic ordinaire des vitriers, qui est impénétrable à l'eau.

I V.

Lentilles de verre solide.

J'AI vu deux de ces lentilles, celle du Palais-Royal, et celle du sieur Segard; toutes deux ont été tirées d'une masse de verre d'Allemagne, qui est beaucoup plus transparent que le verre de nos glaces de miroir : mais personne ne sait en France fondre le verre en larges masses épaisses, et la composition d'un verre transparent comme celui de Bohême n'est connue que depuis peu d'années.

J'ai donc d'abord cherché les moyens de fondre le verre en masses épaisses, et j'ai fait en même temps différens essais pour avoir une matière bien transparente. M. de Romilly, qui, dans ce temps, étoit l'un des directeurs de la manufacture de Saint-Gobin, m'ayant aidé de ses conseils, nous fondîmes deux masses de verre d'environ sept pouces de diamètre sur cinq à six pouces d'épaisseur, dans des creusets à un fourneau où l'on cuisoit de la faïence au fauxbourg Saint-Antoine. Après avoir fait user et polir les

deux surfaces de ces morceaux de verre pour les rendre parallèles, je trouvai qu'il n'y en avoit qu'un des deux qui fût parfaitement net. Je livrai le second morceau, qui étoit le moins parfait, à des ouvriers, qui ne laissèrent pas que d'en tirer d'assez bons prismes de toute grosseur, et j'ai gardé pendant plusieurs années le premier morceau, qui avoit quatre pouces et demi d'épaisseur, et dont la transparence étoit telle, qu'en posant ce verre de quatre pouces et demi d'épaisseur sur un livre, on pouvoit lire à travers très-aisément les caractères les plus petits et les écritures de l'encre la plus blanche. Je comparai le degré de transparence de cette matière avec celle des glaces de Saint-Gobin, prises et réduites à différentes épaisseurs; un morceau de la matière de ces glaces, de deux pouces et demi d'épaisseur sur environ un pied de longueur et de largeur, que M. de Romilly me procura, étoit verd comme du marbre verd, et l'on ne pouvoit lire à travers: il fallut le diminuer de plus d'un pouce pour commencer à distinguer les caractères à travers son épaisseur, et enfin le réduire à deux lignes et demie d'épaisseur pour que sa trans-

parence fût égale à celle de mon morceau de quatre pouces et demi d'épaisseur ; car on voyoit aussi clairement les caractères du livre à travers ces quatre pouces et demi qu'à travers la glace qui n'avoit que deux lignes et demie. Voici la composition de ce verre dont la transparence est si grande :

Sable blanc crystallin, *une livre.*
Minium ou chaux de plomb, *une livre.*
Potasse, *une demi-livre.*
Salpêtre, *une demi-once.*

Le tout mêlé et mis au feu suivant l'art.

J'ai donné à M. Cassini de Thury ce morceau de verre, dont on pouvoit espérer de faire d'excellens verres de lunette achromatique, tant à cause de sa très-grande transparence que de sa force réfringente, qui étoit très-considérable, vu la quantité de plomb qui étoit entrée dans sa composition ; mais M. de Thury ayant confié ce beau morceau de verre à des ouvriers ignorans, ils l'ont gâté au feu, où ils l'ont remis mal-à-propos. Je me suis repenti de ne l'avoir pas fait travailler moi-même ; car il ne s'agissoit que de le trancher en lames, et la matière en étoit

encore plus transparente et plus nette que celle *flint-glass* d'Angleterre, et elle avoit plus de force de réfraction.

Avec six cents livres de cette même composition, je voulois faire une lentille de vingt-six ou vingt-sept pouces de diamètre, et de cinq pieds de foyer. J'espérois pouvoir la fondre dans mon fourneau, dont à cet effet j'avois fait changer la disposition intérieure; mais je reconnus bientôt que cela n'étoit possible que dans les plus grands fourneaux de verrerie. Il me falloit une masse de trois pouces d'épaisseur sur vingt-sept ou vingt-huit pouces de diamètre, ce qui fait environ un pied cube de verre. Je demandai la liberté de la faire couler à mes frais à la manufacture de Saint-Gobin ; mais les administrateurs de cet établissement ne voulurent pas me le permettre, et la lentille n'a pas été faite. J'avois supputé que la chaleur de cette lentille de vingt-sept pouces seroit à celle de la lentille du Palais-Royal comme 19 sont à 6; ce qui est un très-grand effet, attendu la petitesse du diamètre de cette lentille, qui auroit eu onze pouces de moins que celle du Palais-Royal.

Cette lentille, dont l'épaisseur au point du milieu ne laisse pas d'être considérable, est néanmoins ce qu'on peut faire de mieux pour brûler à cinq pieds : on pourroit même en augmenter le diamètre; car je suis persuadé qu'on pourroit fondre et couler également des pièces plus larges et plus épaisses dans les fourneaux où l'on fond les grandes glaces, soit à Saint-Gobin, soit à Rouelles en Bourgogne. J'observe seulement ici qu'on perdroit plus par l'augmentation de l'épaisseur qu'on ne gagneroit par celle de la surface du miroir, et que c'est pour cela que, tout compensé, je m'étois borné à vingt-six ou vingt-sept pouces.

Newton a fait voir que quand les rayons de lumière tomboient sur le verre sous un angle de plus de quarante-sept ou quarante-huit degrés, ils sont réfléchis au lieu d'être réfractés. On ne peut donc pas donner à un miroir réfringent un diamètre plus grand que la corde d'un arc de quarante-sept ou de quarante-huit degrés de la sphère sur laquelle il a été travaillé. Ainsi, dans le cas présent, pour brûler à cinq pieds, la sphère ayant environ trente-deux pieds de circonférence,

le miroir ne peut avoir qu'un peu plus de quatre pieds de diamètre : mais, dans ce cas, il auroit le double d'épaisseur de ma lentille de vingt-six pouces ; et d'ailleurs les rayons trop obliques ne se réunissent jamais bien.

Ces loupes de verre solide sont, de tous les miroirs que je viens de proposer, les plus commodes, les plus solides, les moins sujets à se gâter, et même les plus puissans lorsqu'ils sont bien transparens, bien travaillés, et que leur diamètre est bien proportionné à la distance de leur foyer. Si l'on veut donc se procurer une loupe de cette espèce, il faut combiner ces différens objets, et ne lui donner, comme je l'ai dit, que vingt-sept pouces de diamètre pour brûler à cinq pieds, qui est une distance commode pour travailler de suite et fort à l'aise au foyer. Plus le verre sera transparent et pesant, plus seront grands les effets ; la lumière passera en plus grande quantité en raison de la transparence, et sera d'autant moins dispersée, d'autant moins réfléchie, et par conséquent d'autant mieux saisie par le verre, et d'autant plus réfractée, qu'il sera plus massif, c'est-à-dire, spécifiquement plus pesant. Ce sera donc un

avantage que de faire entrer dans la composition de ce verre une grande quantité de plomb ; et c'est par cette raison que j'en ai mis moitié, c'est-à-dire, autant de minium que de sable. Mais, quelque transparent que soit le verre de ces lentilles, leur épaisseur dans le milieu est non seulement un très-grand obstacle à la transmission de la lumière, mais encore un empêchement aux moyens qu'on pourroit trouver pour fondre des masses aussi épaisses et aussi grandes qu'il le faudroit : par exemple, pour une loupe de quatre pieds de diamètre, à laquelle on donneroit un foyer de cinq ou six pieds, qui est la distance la plus commode, et à laquelle la lumière, plongeant avec moins d'obliquité, aura plus de force qu'à de plus grandes distances, il faudroit fondre une masse de verre de quatre pieds sur six pouces et demi ou sept pouces d'épaisseur, parce qu'on est obligé de la travailler et de l'user même dans la partie la plus épaisse. Or il seroit très-difficile de fondre et couler d'un seul jet ce gros volume, qui seroit, comme l'on voit, de cinq ou six pieds cubes ; car les plus amples cuvettes des manufactures de glaces ne con-

tiennent pas deux pieds cubes : les plus grandes glaces de soixante pouces sur cent vingt, en leur supposant cinq lignes d'épaisseur, ne font qu'un volume d'environ un pied cube trois quarts. L'on sera donc forcé de se réduire à ce moindre volume, et de n'employer en effet qu'un pied cube et demi ou tout au plus un pied cube trois quarts de verre pour en former la loupe, et encore aura-t-on bien de la peine à obtenir des maîtres de ces manufactures de faire couler du verre à cette grande épaisseur, parce qu'ils craignent, avec quelque raison, que la chaleur trop grande de cette masse epaisse de verre ne fasse fondre ou boursoufler la table de cuivre sur laquelle on coule les glaces, lesquelles, n'ayant au plus que cinq lignes d'épaisseur *, ne communiquent à la table qu'une chaleur très-médiocre en comparaison

* On a néanmoins coulé à Saint-Gobin, et à ma prière, des glaces de sept lignes, dont je me suis servi pour différentes expériences, il y a plus de vingt ans ; j'ai remis dernièrement une de ces glaces de trente-huit pouces en quarré et de sept lignes d'épaisseur à M. de Bernières, qui a entrepris de faire des loupes à l'eau pour l'académie des sciences,

de celle que lui feroit subir une masse de six pouces d'épaisseur.

V.

Lentilles à échelons pour brûler avec la plus grande vivacité possible *.

Je viens de dire que les fortes épaisseurs qu'on est obligé de donner aux lentilles lorsqu'elles ont un grand diamètre et un foyer court, nuisent beaucoup à leur effet : une lentille de six pouces d'épaisseur dans le milieu de la matière des glaces ordinaires ne brûle, pour ainsi dire, que par les bords. Avec du verre plus transparent l'effet sera plus grand ; mais la partie du milieu reste toujours en pure perte, la lumière ne pouvant en pénétrer et traverser la trop grande épaisseur. J'ai rapporté les expériences que j'ai faites sur la diminution de la lumière

et j'ai vu chez lui des glaces de dix lignes d'épaisseur, qui ont été coulées de même à Saint-Gobin : cela doit faire présumer qu'on pourroit, sans aucun risque pour la table, en couler d'encore plus épaisses.

* Voyez les planches XIV, XV, XVI.

qui passe à travers différentes épaisseurs du même verre; et l'on a vu que cette diminution est très-considérable : j'ai donc cherché les moyens de parer à cet inconvénient, et j'ai trouvé une manière simple et assez aisée de diminuer réellement les épaisseurs des lentilles autant qu'il me plaît, sans pour cela diminuer sensiblement leur diamètre et sans alonger leur foyer.

Ce moyen consiste à travailler ma pièce de verre par échelons. Supposons, pour me faire mieux entendre, que je veuille diminuer de deux pouces l'épaisseur d'une lentille de verre qui a vingt-six pouces de diamètre, cinq pieds de foyer et trois pouces d'épaisseur au centre; je divise l'arc de cette lentille en trois parties, et je rapproche concentriquement chacune de ces portions d'arc, en sorte qu'il ne reste qu'un pouce d'épaisseur au centre, et je forme de chaque côté un échelon d'un demi-pouce, pour rapprocher de même les parties correspondantes : par ce moyen, en faisant un second échelon, j'arrive à l'extrémité du diamètre, et j'ai une lentille à échelons qui est à très-peu près du même foyer, et qui a le même dia-

mètre, et près de deux fois moins d'épaisseur que la première ; ce qui est un très-grand avantage.

Si l'on vient à bout de fondre une pièce de verre de quatre pieds de diamètre sur deux pouces et demi d'épaisseur, et de la travailler par échelons sur un foyer de huit pieds, j'ai supputé qu'en laissant même un pouce et demi d'épaisseur au centre de cette lentille et à la couronne intérieure des échelons, la chaleur de cette lentille sera à celle de la lentille du Palais-Royal comme 28 sont à 6, sans compter l'effet de la différence des épaisseurs, qui est très-considérable et que je ne puis estimer d'avance.

Cette dernière espèce de miroir réfringent est tout ce qu'on peut faire de plus parfait en ce genre; et quand même nous le réduirions à trois pieds de diamètre sur quinze lignes d'épaisseur au centre et six pieds de foyer, ce qui en rendra l'exécution moins difficile, on auroit toujours un degré de chaleur quatre fois au moins plus grand que celui des plus fortes lentilles que l'on connoisse. J'ose dire que ce miroir à échelons seroit l'un des plus utiles instrumens de

physique ; je l'ai imaginé il y a plus de vingt-cinq ans, et tous les savans auxquels j'en ai parlé desireroient qu'il fût exécuté : on en tireroit de grands avantages pour l'avancement des sciences; et, y adaptant un héliomètre, on pourroit faire à son foyer toutes les opérations de la chimie aussi commodément qu'on le fait au feu des fourneaux, etc.

Explication des figures qui représentent le fourneau dans lequel j'ai fait courber des glaces pour faire les miroirs ardens de différentes espèces.

La *planche I* est le plan du fourneau, au rez-de-chaussée, où l'on voit *HKB* un vide qui sauve les inconvéniens du terre-plein sous l'âtre du fourneau; ce vide est couvert d'une voûte, comme on le verra dans les figures suivantes.

ER les cendriers, disposés en sorte que l'ouverture de l'un est dans la face où se trouve le vent de l'autre.

LL deux contre-forts qui affermissent la maçonnerie du fourneau.

MM deux autres contre-forts, dont l'usage est le

même que celui de ceux ci-dessus, et qui n'en diffèrent que parce qu'ils sont un peu arrondis.

GGGG plans de quatre barres de fer qui affermissent le fourneau, ainsi qu'il sera expliqué ci-après.

La *planche II* est l'élévation d'une des faces parallèles à la ligne *CD* du plan précédent.

HK l'ouverture pratiquée dans l'âtre du fourneau, afin qu'il ne s'y trouve point d'humidité.

CC la bouche ou grande ouverture du fourneau.

A la petite ouverture pratiquée dans la face opposée, laquelle est toute semblable à celle que la même planche représente, à cette différence près, que l'ouverture est plus petite.

M m un des contre-forts arrondis, à côté duquel on voit le vent.

R ouverture par où l'air extérieur passe sous la grille du foyer.

E le cendrier, *N* le foyer, *P* la porte qui le ferme.

L l un contre-fort quarré.

GO, GO, deux des barres de fer scellées en terre, et qui sont unies à celles qui sont posées à l'autre face par les liens de fer *D,* ainsi que l'on verra dans une des figures suivantes.

OO deux barres de fer qui unissent ensemble les deux barres *GO, GO,* et retiennent la voûte de l'ouverture *CC* qui est bombée.

m D B D l la voûte commune du fourneau et des foyers, dont la figure est ellipsoïde; l'arrangement des briques et autres matériaux qui composent le fourneau se connoît aisément par la figure.

La *planche III* est la vue extérieure du fourneau par une des faces parallèles à la ligne *AB* du plan.

L l, *M m* contre-forts.

HK extrémités de l'ouverture sous l'âtre du fourneau.

A la petite ouverture, *C* la grande.

GOD, *GOD*, les barres de fer dont on a parlé, qui sont unies ensemble par le lien *DD*.

Les liens *DD* couchés sur la voûte *DBD* sont unis ensemble par un troisième lien de fer.

P est la porte de fer qui ferme le foyer.

Les figures précédentes font connoître l'extérieur du fourneau. L'intérieur, plus intéressant, est représenté dans les planches suivantes.

La *planche IV* est une coupe horizontale du fourneau par le milieu de la grande bouche.

X est l'âtre que l'on a rendu concave sphérique.

EE les deux grilles qui séparent le foyer du cendrier, et sur lesquelles on met le charbon; on a supposé que la voûte étoit transparente, pour mieux

faire voir la direction des barreaux qui composent les grilles.

A la petite ouverture, *CC* la grande.

DD les marges; *LM*, *LM*, les contre-forts.

La *planche V* est la coupe verticale du fourneau suivant la ligne *CD* du plan, ou selon le grand axe de l'ellipsoïde dont la voûte a la figure.

Z le vide sous l'âtre du fourneau.

GXK cavité sphérique pratiquée dans l'âtre du fourneau, et sur laquelle la glace *GK* qui a été arrondie est posée, et dont elle doit prendre exactement la figure, après qu'elle aura été ramollie par le feu.

FF les grilles ou foyer au-dessous desquelles sont les cendriers.

DD les marges qui empêchent les bords de la glace du côté des foyers d'être trop tôt atteints par le feu.

CBC la voûte, *CC* lunettes que l'on ouvre ou ferme à volonté en les couvrant d'un carreau de terre cuite, *LM* contre-forts.

La *planche VI* représente la coupe du fourneau par un plan vertical, qui passe par la ligne *AB* du plan.

HKL le vide sous l'âtre du fourneau.

GXK cavité sphérique pratiquée dans l'âtre du fourneau, et sur laquelle la glace *X* est déja appliquée.

DD une des marges, *P* la grande ouverture, *Q* la petite, *CCC* lunettes.

CBC la voûte coupée transversalement ou selon le petit axe de l'ellipsoïde. On jugera de la grandeur de chaque partie de ce fourneau par les échelles qui sont au bas de chaque figure, qui ont été exactement levées sur le fourneau qui étoit au Jardin royal des plantes, par M. Goussier.

Grand miroir de réflexion, appelé miroir d'Archimède.

Planche VII, figure 1. Ce miroir est composé de trois cent soixante glaces montées sur un châssis de fer *CDEF;* chaque glace est mobile, pour que les images réfléchies par chacune puissent être renvoyées vers le même point, et coïncider dans le même espace.

Le châssis, qui a deux tourillons, est porté par une pièce de fer composée de deux montans *MB*, *LA*, assemblés à tenons et mortoises dans la couche *ZO;* ils sont assujettis dans cette situation par la traverse *a b*, et par trois étais à chacun *NP*, *QP*, *OP*, fixés en *P* dans le corps du montant *MB*, et assemblés par le bas dans une courbe *NOQ* qui leur sert d'empatement; ces courbes ont des entailles

NQ, IU, qui reçoivent des roulettes, au moyen desquelles cette machine, quoique fort pesante, peut tourner librement sur le plancher de bois *XXY,* étant assujettie au centre de cette plate-forme par l'axe *RS* qui passe dans les deux traverses *ZO, ab;* chaque montant porte aussi à sa partie inférieure une roulette, en sorte que toute la machine est portée par dix roulettes : la plate-forme de bois est recouverte de bandes de fer dans la rouette des roulettes; sans cette attention la plate-forme ne seroit pas de longue durée.

La plate-forme est portée par quatre fortes roulettes de bois, dont l'usage est de faciliter le transport de toute la machine d'un lieu à un autre.

Pour pouvoir varier à volonté les inclinaisons du miroir, et pouvoir l'assujettir dans la situation que l'on juge à propos, on a adapté la crémaillère *FG* qui est unie avec des cercles, dont le tourillon *B* est le centre; cette crémaillère est menée par un pignon en lanterne, dont la tige *b H* traverse le montant et un des étais, et est terminée par une manivelle *HK,* au moyen de laquelle on incline ou on redresse le miroir à discrétion.

Jusqu'à présent nous n'avons expliqué que la construction générale du miroir; reste à expliquer par quel artifice on parvient à faire que les images différentes, réfléchies par les différens miroirs, sont

toutes renvoyées au même point, et c'est à quoi sont destinées les figures suivantes.

Planche VIII, figure 2. *XZ* une portion des barres qui occupent le derrière du miroir; ces barres sont au nombre de vingt, et disposées horizontalement, en sorte que leur plan est parallèle au plan du miroir; chacune de ces barres a dix-huit entailles *TT*, et le même nombre d'éminences *VV* qui les séparent : ces barres sont assujetties aux côtés verticaux du châssis du miroir par des vis, et entre elles par trois ou quatre barres verticales, auxquelles elles sont assujetties par des vis. Vis-à-vis de chaque entaille *TT* il y a des poupées *TA*, *TD*, qui y sont fixées par les écrous *GA*, qui prennent la partie taraudée de la queue de la poupée, après qu'elle a traversé l'épaisseur de la barre; les parties supérieures de chaque poupée, qui sont percées, servent de collets aux tourillons de la croix dont nous allons parler; cette croix, représentée *figures* 3 et 5, est un morceau de cuivre ou de fer, dont la figure fait connoître la forme.

CD les tourillons qui entrent dans les trous pratiqués à chaque poupée, en sorte qu'elle se peut mouvoir librement dans ces trous.

La vis *ML*, après avoir traversé l'éminence *V*, va s'appuyer en dessous contre l'extrémité inférieure

B du croisillon *BA;* en même temps le ressort *K* va s'appliquer contre l'autre extrémité *A* du même croisillon ; en sorte que lorsque l'on fait tourner la vis en montant, le ressort en se rétablissant fait que la partie *B* du croisillon se trouve toujours appliquée sur la pointe de la vis : il résulte de cette construction un mouvement de ginglyme ou charnière, dont l'axe est *BC, figure* 2.

Ce seul mouvement ne suffisant pas, on en a pratiqué un autre, dont l'axe de mouvement croise à angle droit le premier.

Aux deux extrémités *A* et *B* du croisillon *AB*, on a adapté deux petites poupées *BH, AK, fig.* 5, retenues, comme les précédentes, par des vis et des écrous.

Les trous *HK*, qui sont aux parties supérieures de ces poupées, reçoivent les tourillons *DC, fig.* 4, d'une plaque de fer que nous avons appelée *porte-glace,* qui peut se mouvoir librement sur les poupées, et s'incliner à l'axe *CD* du premier mouvement par le moyen de la vis *FG*, pour laquelle on a réservé un bossage *E* dans le croisillon *AB,* afin de lui servir d'écrous dormans : cette vis s'applique par *E* contre la partie *DBC* du porte-glace, et force cette partie à monter lorsqu'on tourne la vis ; mais lorsqu'on vient à lâcher cette vis, le ressort *AL* qui s'applique contre la partie *DAC* du porte-glace,

le force à suivre toujours la pointe de la vis : au moyen de ces deux mouvemens de ginglyme, on peut donner à la glace qui est reçue par les crochets *ACB* du porte-glace, telle direction que l'on souhaite, et par ce moyen faire coïncider l'image du Soleil réfléchie par une glace, avec celle qui est réfléchie par une autre.

Planche IX. La *figure* 6 représente le porte-glace vu par derrière, où l'on voit la vis *FEG* qui s'applique en *G* hors de l'axe de mouvement *HK*, et le ressort *L* qui s'applique en *L* de l'autre côté de l'axe de mouvement.

La *figure* 7 représente le porte-glace vu en dessus, et garni de la glace *ACBD*; le reste est expliqué dans les autres figures.

Miroir de réflexion rendu concave par la pression d'une vis appliquée au centre.

Planche X. La *figure* 1 représente le miroir monté sur son pied, *BDC* la fourchette qui porte le miroir; cette fourchette est mobile dans l'axe vertical, et est retenue sur le pied à trois branches *FFF* par l'écrou *G*.

DE le régulateur des inclinaisons.

A la tête de la vis placée au centre du miroir, rendu concave par son moyen.

La *figure* 2 représente le miroir vu par sa partie postérieure, *BC* les tourillons qui entrent dans les collets de la fourchette.

FG une barre de fer fixée sur l'anneau de même métal qui entoure la glace : cette barre sert de point d'appui à la vis *DE* qui comprime la glace.

BHCK l'anneau ou cercle de fer sur lequel la glace est appliquée ; ce cercle doit être exactement plan et parfaitement circulaire : on couvre la partie sur laquelle la glace s'applique, avec de la peau, du cuir ou de l'étoffe, pour que le contact soit plus immédiat, et que la glace ne soit point exposée à rompre.

Miroir de réflexion rendu concave par la pression de l'atmosphère.

Planche XI. Ce miroir consiste en un tambour ou cylindre, dont une des bases est la glace, et l'autre une plaque de fer.

AB, fig. 1, la glace parfaitement plane, *C* une lentille taillée dans l'épaisseur même de la glace.

AE ou *BM* la hauteur du cylindre aux extrémités du diamètre horizontal *TL*, duquel sortent deux tourillons, qui entrent dans les yeux de la fourchette, ainsi qu'il est expliqué en parlant du miroir de réfraction.

MO le régulateur des inclinaisons.

N le collet par lequel il passe, et la vis qui sert à l'y fixer.

NRSPQ le pied qui est semblable à celui du miroir de réfraction, à cette différence près, qu'il est de bois, et que les pièces ont un contour moins orné; du reste sa fonction est la même.

Figure 2 est le profil du miroir coupé par un plan qui passe par l'axe du cylindre, et auquel on suppose que l'œil est perpendiculaire.

AB la glace dont on voit l'épaisseur.

C la lentille qui y est entaillée, et dont le foyer tombe sur le point *c*.

ED la base du cylindre, qui est une plaque de fer.

AE, BD, la hauteur et la coupe de la surface cylindrique.

c m une mèche soufrée que l'on fait entrer dans la cavité du miroir, après avoir ôté la vis *K*, dont l'écrou est un cube solidement attaché à la plaque de fer qui sert de fond au miroir.

G la même vis représentée séparément; *H* une rondelle de cuir que l'on met entre la tête de la vis et son écrou pour fermer entièrement le passage à l'air.

abc la courbure que la glace prend, après que l'air que le cylindre contient a été consommé par la flamme de la bougie *c m*, à laquelle la lentille *C* a mis le feu.

DF le régulateur des inclinaisons, qui est assemblé à charnière au point *D*.

EmK, KmD, règles de fer posées de champ sur la base du cylindre, et qui sont fortement assujetties; leur usage est pour fortifier la plaque et la mettre en état de résister au poids de l'atmosphère, qui la comprime aussi-bien que la glace : cette construction est représentée dans une autre figure, *planche XII*.

Autre miroir de réflexion.

Planche XII. Il consiste aussi en un cylindre ou tambour de fer, dont une des bases est une glace parfaitement plane; la base opposée, et qui est celle que la *figure* 1 présente, est une plaque de fer qui est fortifiée par les règles de fer posées de champ *EG, FH, EK*. On vide l'air que le cylindre contient par la pompe *BC,* qui est affermie sur la plaque de fer par les collets *xx*.

A l'extrémité supérieure du piston.

E un cube de cuivre solidement fixé sur la plaque; ce cube est porté en travers pour recevoir le robinet *F,* au moyen duquel on ouvre ou on ferme la communication de l'intérieur du cylindre avec la pompe.

LM, mn, la fourchette sur laquelle le miroir est monté, et qui est mobile dans l'arbre *MO*.

MPRQ le pied, qui a seulement trois branches ; ce qui fait qu'il porte toujours à plomb, même sur un plan inégal.

La *figure* 2 représente le miroir coupé suivant la ligne *GH*, et duquel on suppose que l'on a pompé l'air.

XVZ la glace que la pression de l'atmosphère a rendue concave.

HG la plaque de fer qui sert de fond au cylindre.

LN les tourillons.

FE le robinet.

EG, *FH*, les règles de champ qui maintiennent la plaque.

Les *figures* 3 et 4 représentent en grand la coupe du cube dans lequel passe le robinet ; ce cube est supposé coupé par un plan perpendiculaire à la plaque, et qui passe par la pompe.

c partie du canal coudé pratiqué dans le cube qui communique à l'intérieur du miroir.

b portion du même canal qui communique à la pompe.

a le robinet qui se trouve coupé perpendiculairement à son axe.

La *figure* 3 représente la situation du robinet lorsque la communication est ouverte ; la portion *m* du canal se présente vis-à-vis les ouvertures *b*, *c*.

La *figure* 4 représente la situation du robinet

lorsque la communication est fermée ; alors la partie *m* du canal ne se présente plus vis-à-vis les mêmes ouvertures.

Lentille à l'eau.

Planche XIII, figure 1. Le miroir entier monté sur son pied.

ABMC le miroir composé de deux glaces convexes, assujetties l'une contre l'autre par le châssis ou cadre circulaire *ABMC*.

BC extrémités de la fourchette de fer qui porte ce miroir. Les extrémités de cette fourchette sont percées d'un trou cylindrique pour recevoir les tourillons dont le châssis du miroir est garni, et sur lesquels il se meut pour varier les inclinaisons.

BKC la fourchette.

KFiGH le pied qui porte le miroir ; il est composé de plusieurs pièces.

KL l'arbre ou poinçon qui s'appuie par sa partie inférieure sur la croix *HI, FG;* il est fixé dans la situation verticale par les quatre étais ou jambes de force *KG, KH, KF, KI,* qui sont de fer, et auxquelles on a donné un contour agréable.

fghi les roulettes.

Figure 2. Coupe ou profil du miroir dans laquelle on suppose que l'œil est placé dans le plan qui sépare les deux glaces.

XZ les deux glaces qui étant réunies forment une lentille.

or le plan qui sépare les deux glaces.

bm coupe du châssis ou anneau qui retient les glaces unies ensemble ; cet anneau est composé de deux pièces qui s'assujettissent l'une à l'autre par des vis, et entre lesquelles les glaces sont mastiquées.

a une petite bouteille à deux cols, l'un desquels communique au vide que les deux glaces laissent entre elles par un canal pratiqué entre les deux glaces, et qui est entaillé moitié dans l'une et moitié dans l'autre.

Figure 3, *BDC* la fourchette de fer qui porte le miroir.

DE tige de la fourchette qui entre dans un trou vertical pratiqué à l'axe ou arbre *KL* du pied, en sorte que l'on peut présenter successivement la face du miroir à tous les points de l'horizon.

D collet dans lequel passe le régulateur des inclinaisons que l'on y fixe par une vis.

Lentille à échelons.

Planche XIV. AB bordure circulaire pour contenir ce miroir à échelons.

CC tourillons qui passent dans les trous percés horizontalement à la partie supérieure de la four-

chette *DD;* à sa partie inférieure tient une tige aussi de fer, que l'on ne voit point ici, étant entrée perpendiculairement, mais un peu à l'aise, dans l'arbre *E*, afin de pouvoir tourner à droite et à gauche.

L'arbre *E* est attaché solidement à son pied, qui est fait en croix, dont on ne peut voir ici que trois de ses côtés indiqués *FFF.*

GGG jambages de force ou étais de fer pour la solidité.

HHH roulettes dessous les pieds pour ranger facilement ce miroir à la direction que l'on juge à propos.

La *planche XV* représente ce même miroir à échelons en perspective, tourné vers le Soleil pour mettre le feu.

AB bordure circulaire qui contient la glace à échelons.

CC tourillons qui passent dans les trous percés à la partie supérieure de la fourchette *DD.*

A la partie inférieure de la fourchette, qui est de fer, tient une tige cylindrique de même métal qui entre juste dans l'arbre, mais non trop serrée, pour qu'elle puisse avoir un jeu doux, propre à pouvoir tourner à droite ou à gauche pour la diriger comme on le desire.

E l'arbre dans lequel entre cette tige.

FFFF les quatre pieds en croix sur laquelle est attaché solidement l'arbre.

GGGG les quatre jambes de force, aussi de fer.

H le feu acti tiré du Soleil par la construction de ce miroir.

III roulettes de dessous les pieds du porte-miroir.

La *planche XVI* représente les coupes de trois miroirs à échelons, dont le plus facile à exécuter seroit celui de la *figure* 1. Leur échelle est de six pouces de pied-de-roi pour pied-de-roi.

SEPTIÈME MÉMOIRE.

Observations sur les couleurs accidentelles et sur les ombres colorées.

QUOIQU'ON se soit beaucoup occupé, dans ces derniers temps, de la physique des couleurs, il ne paroît pas qu'on ait fait de grands progrès depuis Newton : ce n'est pas qu'il ait épuisé la matière; mais la plupart des physiciens ont plus travaillé à le combattre qu'à l'entendre ; et quoique ses principes soient clairs, et ses expériences incontestables, il y a si peu de gens qui se soient donné la peine d'examiner à fond les rapports et l'ensemble de ses découvertes, que je ne crois pas devoir parler d'un nouveau genre de couleurs, sans avoir auparavant donné des idées nettes sur la production des couleurs en général.

Il y a plusieurs moyens de produire des couleurs; le premier est la réfraction. Un

trait de lumière qui passe à travers un prisme se rompt et se divise de façon qu'il produit une image colorée, composée d'un nombre infini de couleurs ; et les recherches qu'on a faites sur cette image colorée du Soleil, ont appris que la lumière de cet astre est l'assemblage d'une infinité de rayons de lumière différemment colorés ; que ces rayons ont autant de différens degrés de réfrangibilité que de couleurs différentes, et que la même couleur a constamment le même degré de réfrangibilité. Tous les corps diaphanes dont les surfaces ne sont pas parallèles produisent des couleurs par la réfraction ; l'ordre de ces couleurs est invariable, et leur nombre, quoiqu'infini, a été réduit à sept dénominations principales, *violet, indigo, bleu, verd, jaune, orangé, rouge :* chacune de ces dénominations répond à un intervalle déterminé dans l'image colorée, qui contient toutes les nuances de la couleur dénommée ; de sorte que dans l'intervalle rouge on trouve toutes les nuances de rouge, dans l'intervalle jaune toutes les nuances de jaune, etc., et dans les confins de ces intervalles les couleurs intermédiaires qui ne sont ni jaunes

ni rouges, etc. C'est par de bonnes raisons que Newton a fixé à sept le nombre des dénominations des couleurs : l'image colorée du Soleil, qu'il appelle *le spectre solaire*, n'offre à la première vue que cinq couleurs, violet, bleu, verd, jaune et rouge; ce n'est encore qu'une décomposition imparfaite de la lumière, et une représentation confuse des couleurs. Comme cette image est composée d'une infinité de cercles différemment colorés qui répondent à autant de disques du Soleil, et que ces cercles anticipent beaucoup les uns sur les autres, le milieu de tous ces cercles est l'endroit où le mélange des couleurs est le plus grand, et il n'y a que les côtés rectilignes de l'image où les couleurs soient pures; mais, comme elles sont en même temps très-foibles, on a peine à les distinguer, et on se sert d'un autre moyen pour épurer les couleurs : c'est en rétrécissant l'image du disque du Soleil; ce qui diminue l'anticipation des cercles colorés les uns sur les autres, et par conséquent le mélange des couleurs. Dans ce spectre de lumière épurée et homogène, on voit très-bien les sept couleurs : on en voit même

beaucoup plus de sept avec un peu d'art; car en recevant successivement sur un fil blanc les différentes parties de ce spectre de lumière épurée, j'ai compté souvent jusqu'à dix-huit ou vingt couleurs dont la différence étoit sensible à mes yeux. Avec de meilleurs organes ou plus d'attention on pourroit encore en compter davantage : cela n'empêche pas qu'on ne doive fixer le nombre de leurs dénominations à sept, ni plus ni moins; et cela par une raison bien fondée, c'est qu'en divisant le spectre de lumière épurée en sept intervalles, et suivant la proportion donnée par Newton, chacun de ces intervalles contient des couleurs qui, quoique prises toutes ensemble, sont indécomposables par le prisme et par quelque art que ce soit; ce qui leur a fait donner le nom de *couleurs primitives*. Si au lieu de diviser le spectre en sept, on ne le divise qu'en six, ou cinq, ou quatre, ou trois intervalles, alors les couleurs contenues dans chacun de ces intervalles se décomposent par le prisme, et par conséquent ces couleurs ne sont pas pures, et ne doivent pas être regardées comme couleurs primitives. On ne

peut donc pas réduire les couleurs primitives à moins de sept dénominations, et on ne doit pas en admettre un plus grand nombre, parce qu'alors on diviseroit inutilement les intervalles en deux ou plusieurs parties, dont les couleurs seroient de la même nature, et ce seroit partager mal-à-propos une même espèce de couleur, et donner des noms différens à des choses semblables.

Il se trouve, par un hasard singulier, que l'étendue proportionnelle de ces sept intervalles de couleurs répond assez juste à l'étendue proportionnelle des sept tons de la musique; mais ce n'est qu'un hasard dont on ne doit tirer aucune conséquence : ces deux résultats sont indépendans l'un de l'autre, et il faut se livrer bien aveuglément à l'esprit de systême, pour prétendre, en vertu d'un rapport fortuit, soumettre l'œil et l'oreille à des lois communes, et traiter l'un de ces organes par les règles de l'autre, en imaginant qu'il est possible de faire un concert aux yeux ou un paysage aux oreilles.

Ces sept couleurs, produites par la réfraction, sont inaltérables, et contiennent toutes les couleurs et toutes les nuances de

couleurs qui sont au monde : les couleurs du prisme, celles des diamans, celles de l'arc-en-ciel, des images des halos, dépendent toutes de la réfraction, et en suivent exactement les lois.

La réfraction n'est cependant pas le seul moyen pour produire des couleurs; la lumière a de plus que sa qualité réfrangible d'autres propriétés qui, quoique dépendantes de la même cause générale, produisent des effets différens : de la même façon que la lumière se rompt et se divise en couleurs en passant d'un milieu dans un autre milieu transparent, elle se rompt aussi en passant auprès des surfaces d'un corps opaque; cette espèce de réfraction qui se fait dans le même milieu, s'appelle *inflexion*, et les couleurs qu'elle produit sont les mêmes que celles de la réfraction ordinaire : les rayons violets, qui sont les plus réfrangibles, sont aussi les plus flexibles; et la frange colorée par l'inflexion de la lumière ne diffère du spectre coloré produit par la réfraction, que dans la forme; et si l'intensité des couleurs est différente, l'ordre en est le même, les propriétés toutes semblables, le nombre égal,

la qualité primitive et inaltérable commune à toutes, soit dans la réfraction, soit dans l'inflexion, qui n'est en effet qu'une espèce de réfraction.

Mais le plus puissant moyen que la nature emploie pour produire des couleurs, c'est la réflexion * : toutes les couleurs matérielles en dépendent; le vermillon n'est rouge que

* J'avoue que je ne pense pas comme Newton, au sujet de la réflexibilité des différens rayons de la lumière. Sa définition de la réflexibilité n'est pas assez générale pour être satisfaisante : il est sûr que la plus grande facilité à être réfléchi est la même chose que la plus grande réflexibilité; il faut que cette plus grande facilité soit générale pour tous les cas : or qui sait si le rayon violet se réfléchit le plus aisément dans tous les cas, à cause que, dans un cas particulier, il rentre plutôt dans le verre que les autres rayons? La réflexion de la lumière suit les mêmes lois que le rebondissement de tous les corps à ressort : de là on doit conclure que les particules de lumière sont élastiques, et par conséquent la réflexibilité de la lumière sera toujours proportionnelle à son ressort, et dès lors les rayons les plus réflexibles seront ceux qui auront le plus de ressort; qualité difficile à mesurer dans la matière de la lumière, parce qu'on ne peut mesurer l'intensité d'un ressort que par la vîtesse qu'il produit : il faudroit

parce qu'il réfléchit abondamment les rayons rouges de la lumière, et qu'il absorbe les autres; l'outremer ne paroît bleu que parce qu'il réfléchit fortement les rayons bleus, et qu'il reçoit dans ses pores tous les autres rayons qui s'y perdent. Il en est de même des autres couleurs des corps opaques et transparens; la transparence dépend de l'uni-

donc, pour qu'il fût possible de faire une expérience sur cela, que les satellites de Jupiter fussent illuminés successivement par toutes les couleurs du prisme, pour reconnoître par leurs éclipses s'il y auroit plus ou moins de vîtesse dans le mouvement de la lumière violette que dans le mouvement de la lumière rouge; car ce n'est que par la comparaison de la vîtesse de ces deux différens rayons qu'on peut savoir si l'un a plus de ressort que l'autre ou plus de réflexibilité. Mais on n'a jamais observé que les satellites, au moment de leur émersion, aient d'abord paru violets, et ensuite éclairés successivement de toutes les couleurs du prisme, donc il est à présumer que les rayons de lumière ont à peu près tous un ressort égal, et par conséquent autant de réflexibilité. D'ailleurs le cas particulier où le violet paroît être plus réflexible ne vient que de la réfraction, et ne paroît pas tenir à la réflexion: cela est aisé à démontrer. Newton a fait voir, à n'en pouvoir douter, que les rayons différens sont inégalement réfrangibles; que

formité de densité : lorsque les parties composantes d'un corps sont d'égale densité, de quelque figure que soient ces mêmes parties, le corps sera toujours transparent. Si l'on réduit un corps transparent à une fort petite

le rouge l'est le moins, et le violet le plus de tous : il n'est donc pas étonnant qu'à une certaine obliquité le rayon violet se trouvant, en sortant du prisme, plus oblique à la surface que tous les autres rayons, il soit le premier saisi par l'attraction du verre et contraint d'y rentrer, tandis que les autres rayons, dont l'obliquité est moindre, continuent leur route sans être assez attirés pour être obligés de rentrer dans le verre : ceci n'est donc pas, comme le prétend Newton, une vraie réflexion; c'est seulement une suite de la réfraction. Il me semble qu'il ne devoit donc pas assurer en général que les rayons les plus réfrangibles étoient les plus réflexibles. Cela ne me paroît vrai qu'en prenant cette suite de la réfraction pour une réflexion, ce qui n'en est pas une; car il est évident qu'une lumière qui tombe sur un miroir et qui en rejaillit en formant un angle de réflexion égal à celui d'incidence, est dans un cas bien différent de celui où elle se trouve au sortir d'un verre si oblique à la surface qu'elle est contrainte d'y rentrer : ces deux phénomènes n'ont rien de commun, et ne peuvent, à mon avis, s'expliquer par la même cause.

épaisseur, cette plaque mince produira des couleurs dont l'ordre et les principales apparences sont fort différentes des phénomènes du spectre ou de la frange colorée : aussi ce n'est pas par la réfraction que ces couleurs sont produites, c'est par la réflexion. Les plaques minces des corps transparens, les bulles de savon, les plumes des oiseaux, etc. paroissent colorées parce qu'elles réfléchissent certains rayons, et laissent passer ou absorbent les autres; ces couleurs ont leurs lois et dépendent de l'épaisseur de la plaque mince : une certaine épaisseur produit constamment une certaine couleur; toute autre épaisseur ne peut la produire, mais en produit une autre : et lorsque cette épaisseur est diminuée à l'infini, en sorte qu'au lieu d'une plaque mince et transparente on n'a plus qu'une surface polie sur un corps opaque, ce poli, qu'on peut regarder comme le premier degré de la transparence, produit aussi des couleurs par la réflexion, qui ont encore d'autres lois ; car lorsqu'on laisse tomber un trait de lumière sur un miroir de métal, ce trait de lumière ne se réfléchit pas tout entier sous le même angle, il s'en

disperse une partie qui produit des couleurs dont les phénomènes, aussi-bien que ceux des plaques minces, n'ont pas encore été assez observés.

Toutes les couleurs dont je viens de parler sont naturelles, et dépendent uniquement des propriétés de la lumière; mais il en est d'autres qui me paroissent accidentelles et qui dépendent autant de notre organe que de l'action de la lumière. Lorsque l'œil est frappé ou pressé, on voit des couleurs dans l'obscurité; lorsque cet organe est mal disposé ou fatigué, on voit encore des couleurs: c'est ce genre de couleurs que j'ai cru devoir appeler *couleurs accidentelles*, pour les distinguer des couleurs naturelles, et parce qu'en effet elles ne paroissent jamais que lorsque l'organe est forcé ou qu'il a été trop fortement ébranlé.

Personne n'a fait, avant le docteur Jurin, la moindre observation sur ce genre de couleurs; cependant elles tiennent aux couleurs naturelles par plusieurs rapports, et j'ai découvert une suite de phénomènes singuliers sur cette matière, que je vais rapporter le plus succinctement qu'il me sera possible.

Lorsqu'on regarde fixement et long-temps une tache ou une figure rouge sur un fond blanc, comme un petit quarré de papier rouge sur un papier blanc, on voit naître autour du petit quarré rouge une espèce de couronne d'un verd foible : en cessant de regarder le quarré rouge, si on porte l'œil sur le papier blanc, on voit très-distinctement un quarré d'un verd tendre, tirant un peu sur le bleu ; cette apparence subsiste plus ou moins long-temps, selon que l'impression de la couleur rouge a été plus ou moins forte. La grandeur du quarré verd imaginaire est la même que celle du quarré réel rouge, et ce verd ne s'évanouit qu'après que l'œil s'est rassuré et s'est porté successivement sur plusieurs autres objets dont les images détruisent l'impression trop forte causée par le rouge.

En regardant fixement et long-temps une tache jaune sur un fond blanc, on voit naître autour de la tache une couronne d'un bleu pâle ; et en cessant de regarder la tache jaune et portant son œil sur un autre endroit du fond blanc, on voit distinctement une tache bleue de la même figure et de la même gran-

deur que la tache jaune, et cette apparence dure au moins aussi long-temps que l'apparence du verd produit par le rouge. Il m'a même paru, après avoir fait moi-même et après avoir fait répéter cette expérience à d'autres dont les yeux étoient meilleurs et plus forts que les miens, que cette impression du jaune étoit plus forte que celle du rouge, et que la couleur bleue qu'elle produit s'effaçoit plus difficilement et subsistoit plus long-temps que la couleur verte produite par le rouge; ce qui semble prouver ce qu'a soupçonné Newton, que le jaune est de toutes les couleurs celle qui fatigue le plus nos yeux.

Si l'on regarde fixement et long-temps une tache verte sur un fond blanc, on voit naître autour de la tache verte une couleur blanchâtre, qui est à peine colorée d'une petite teinte de pourpre : mais en cessant de regarder la tache verte et en portant l'œil sur un autre endroit du fond blanc, on voit distinctement une tache d'un pourpre pâle, semblable à la couleur d'une améthyste pâle; cette apparence est plus foible et ne dure pas, à beaucoup près, aussi long-temps que les

couleurs bleues et vertes produites par le jaune et par le rouge.

De même en regardant fixement et long-temps une tache bleue sur un fond blanc, on voit naître autour de la tache bleue une couronne blanchâtre un peu teinte de rouge; et en cessant de regarder la tache bleue, et portant l'œil sur le fond blanc, on voit une tache d'un rouge pâle, toujours de la même figure et de la même grandeur que la tache bleue, et cette apparence ne dure pas plus long-temps que l'apparence pourpre produite par la tache verte.

En regardant de même avec attention une tache noire sur un fond blanc, on voit naître autour de la tache noire une couronne d'un blanc vif; et cessant de regarder la tache noire, et portant l'œil sur un autre endroit du fond blanc, on voit la figure de la tache exactement dessinée et d'un blanc beaucoup plus vif que celui du fond : ce blanc n'est pas mat; c'est un blanc brillant, semblable au blanc du premier ordre des anneaux colorés décrits par Newton : et au contraire, si on regarde long-temps une tache blanche sur un fond noir, on voit la tache blanche

se décolorer; et en portant l'œil sur un autre endroit du fond noir, on y voit une tache d'un noir plus vif que celui du fond.

Voilà donc une suite de couleurs accidentelles, qui a des rapports avec la suite des couleurs naturelles : le rouge naturel produit le verd accidentel, le jaune produit le bleu, le verd produit le pourpre, le bleu produit le rouge, le noir produit le blanc, et le blanc produit le noir. Ces couleurs accidentelles n'existent que dans l'organe fatigué, puisqu'un autre œil ne les apperçoit pas : elles ont même une apparence qui les distingue des couleurs naturelles; c'est qu'elles sont tendres, brillantes, et qu'elles paroissent être à différentes distances, selon qu'on les rapporte à des objets voisins ou éloignés.

Toutes ces expériences ont été faites sur des couleurs mattes avec des morceaux de papier ou d'étoffes colorées : mais elles réussissent encore mieux lorsqu'on les fait sur des couleurs brillantes, comme avec de l'or brillant et poli, au lieu de papier ou d'étoffe jaune; avec de l'argent brillant, au lieu de papier blanc; avec du lapis, au lieu de papier bleu, etc. : l'impression de ces couleurs

brillantes est plus vive et dure beaucoup plus long-temps.

Tout le monde sait qu'après avoir regardé le Soleil, on porte quelquefois pendant long-temps l'image colorée de cet astre sur tous les objets ; la lumière trop vive du Soleil produit en un instant ce que la lumière ordinaire des corps ne produit qu'au bout d'une minute ou deux d'application fixe de l'œil sur les couleurs. Ces images colorées du Soleil, que l'œil ébloui et trop fortement ébranlé porte par-tout, sont des couleurs du même genre que celles que nous venons de décrire ; et l'explication de leurs apparences dépend de la même théorie.

Je n'entreprendrai pas de donner ici les idées qui me sont venues sur ce sujet; quelqu'assuré que je sois de mes expériences, je ne suis pas assez certain des conséquences qu'on en doit tirer, pour oser rien hasarder encore sur la théorie de ces couleurs. Je me contenterai de rapporter d'autres observations qui confirment les expériences précédentes, et qui serviront sans doute à éclairer cette matière.

En regardant fixement et fort long-temps

un quarré d'un rouge vif sur un fond blanc ; on voit d'abord naître la petite couronne de verd tendre dont j'ai parlé ; ensuite, en continuant à regarder fixement le quarré rouge ; on voit le milieu du quarré se décolorer, et les côtés se charger de couleur, et former comme un cadre d'un rouge plus fort et beaucoup plus foncé que le milieu ; ensuite, en s'éloignant un peu et continuant à regarder toujours fixement, on voit le cadre de rouge foncé se partager en deux dans les quatre côtés, et former une croix d'un rouge aussi foncé : le quarré rouge paroît alors comme une fenêtre traversée dans son milieu par une grosse croisée et quatre panneaux blancs ; car le cadre de cette espèce de fenêtre est d'un rouge aussi fort que la croisée. Continuant toujours à regarder avec opiniâtreté, cette apparence change encore, et tout se réduit à un rectangle d'un rouge si foncé, si fort et si vif, qu'il offusque entièrement les yeux. Ce rectangle est de la même hauteur que le quarré ; mais il n'a pas la sixième partie de sa largeur : ce point est le dernier degré de fatigue que l'œil peut supporter ; et lorsqu'enfin on détourne l'œil de cet objet, et qu'on

le porte sur un autre endroit du fond blanc, on voit, au lieu du quarré rouge réel, l'image du rectangle rouge imaginaire, exactement dessinée et d'une couleur verte brillante. Cette impression subsiste fort long-temps, ne se décolore que peu à peu; elle reste dans l'œil, même après l'avoir fermé. Ce que je viens de dire du quarré rouge, arrive aussi lorsqu'on regarde très-long-temps un quarré jaune ou noir, ou de toute autre couleur; on voit de même le cadre jaune ou noir, la croix et le rectangle; et l'impression qui reste est un rectangle bleu, si on a regardé du jaune; un rectangle blanc brillant, si on a regardé un quarré noir, etc.

J'ai fait faire les expériences que je viens de rapporter, à plusieurs personnes; elles ont vu, comme moi, les mêmes couleurs et les mêmes apparences. Un de mes amis m'a assuré, à cette occasion, qu'ayant regardé un jour une éclipse de soleil par un petit trou, il avoit porté, pendant plus de trois semaines, l'image colorée de cet astre sur tous les objets; que quand il fixoit ses yeux sur du jaune brillant, comme sur une bordure dorée, il voyoit une tache pourpre; et sur du bleu,

comme sur un toit d'ardoises, une tache verte. J'ai moi-même souvent regardé le Soleil, et j'ai vu les mêmes couleurs : mais comme je craignois de me faire mal aux yeux en regardant cet astre, j'ai mieux aimé continuer mes expériences sur des étoffes colorées ; et j'ai trouvé qu'en effet ces couleurs accidentelles changent en se mêlant avec les couleurs naturelles, et qu'elles suivent les mêmes règles pour les apparences : car lorsque la couleur verte accidentelle, produite par le rouge naturel, tombe sur un fond rouge brillant, cette couleur verte devient jaune ; si la couleur accidentelle bleue, produite par le jaune vif, tombe sur un fond jaune, elle devient verte : en sorte que les couleurs qui résultent du mélange de ces couleurs accidentelles avec les couleurs naturelles, suivent les mêmes règles et ont les mêmes apparences que les couleurs naturelles dans leur composition et dans leur mélange avec d'autres couleurs naturelles.

Ces observations pourront être de quelque utilité pour la connoissance des incommodités des yeux, qui viennent probablement d'un grand ébranlement causé par l'impres-

sion trop vive de la lumière. Une de ces incommodités est de voir toujours devant ses yeux des taches colorées, des cercles blancs, ou des points noirs comme des mouches qui voltigent. J'ai ouï bien des personnes se plaindre de cette espèce d'incommodité; et j'ai lu dans quelques auteurs de médecine, que la goutte sereine est toujours précédée de ces points noirs. Je ne sais pas si leur sentiment est fondé sur l'expérience; car j'ai éprouvé moi-même cette incommodité : j'ai vu des points noirs pendant plus de trois mois en si grande quantité, que j'en étois fort inquiet; j'avois apparemment fatigué mes yeux en faisant et en répétant trop souvent les expériences précédentes, et en regardant quelquefois le Soleil ; car les points noirs ont paru dans ce même temps, et je n'en avois jamais vu de ma vie : mais enfin ils m'incommodoient tellement, sur-tout lorsque je regardois au grand jour des objets fortement éclairés, que j'étois contraint de détourner les yeux ; le jaune sur-tout m'étoit insupportable, et j'ai été obligé de changer des rideaux jaunes dans la chambre que j'habitois, et d'en mettre de verds; j'ai évité de

regarder toutes les couleurs trop fortes et tous les objets brillans. Peu à peu le nombre des points noirs a diminué, et actuellement je n'en suis plus incommodé. Ce qui m'a convaincu que ces points noirs viennent de la trop forte impression de la lumière, c'est qu'après avoir regardé le Soleil, j'ai toujours vu une image colorée que je portois plus ou moins long-temps sur tous les objets; et, suivant avec attention les différentes nuances de cette image colorée, j'ai reconnu qu'elle se décoloroit peu à peu, et qu'à la fin je ne portois plus sur les objets qu'une tache noire, d'abord assez grande, qui diminuoit ensuite peu à peu, et se réduisoit enfin à un point noir.

Je vais rapporter à cette occasion un fait qui est assez remarquable; c'est que je n'étois jamais plus incommodé de ces points noirs que quand le ciel étoit couvert de nuées blanches : ce jour me fatiguoit beaucoup plus que la lumière d'un ciel serein, et cela parce qu'en effet la quantité de lumière réfléchie par un ciel couvert de nuées blanches est beaucoup plus grande que la quantité de lumière réfléchie par l'air pur, et qu'à

l'exception des objets éclairés immédiatement par les rayons du Soleil, tous les autres objets qui sont dans l'ombre sont beaucoup moins éclairés que ceux qui le sont par la lumière réfléchie d'un ciel couvert de nuées blanches.

Avant que de terminer ce Mémoire, je crois devoir encore annoncer un fait qui paroîtra peut-être extraordinaire, mais qui n'en est pas moins certain, et que je suis fort étonné qu'on n'ait pas observé; c'est que les ombres des corps, qui, par leur essence, doivent être noires, puisqu'elles ne sont que la privation de la lumière; que les ombres, dis-je, sont toujours colorées au lever et au coucher du Soleil. J'ai observé, pendant l'été de l'année 1743, plus de trente aurores et autant de soleils couchans; toutes les ombres qui tomboient sur du blanc, comme sur une muraille blanche, étoient quelquefois vertes, mais le plus souvent bleues, et d'un bleu aussi vif que le plus bel azur. J'ai fait voir ce phénomène à plusieurs personnes, qui ont été aussi surprises que moi. La saison n'y fait rien; car il n'y a pas huit jours (15 novembre 1743) que j'ai vu des ombres bleues:

et quiconque voudra se donner la peine de regarder l'ombre de l'un de ses doigts, au lever ou au coucher du Soleil, sur un morceau de papier blanc, verra comme moi cette ombre bleue. Je ne sache pas qu'aucun astronome, qu'aucun physicien, que personne, en un mot, ait parlé de ce phénomène, et j'ai cru qu'en faveur de la nouveauté, on me permettroit de donner le précis de cette observation.

Au mois de juillet 1743, comme j'étois occupé de mes couleurs accidentelles, et que je cherchois à voir le Soleil, dont l'œil soutient mieux la lumière à son coucher qu'à toute autre heure du jour, pour reconnoître ensuite les couleurs et les changemens de couleurs causés par cette impression, je remarquai que les ombres des arbres qui tomboient sur une muraille blanche, étoient vertes. J'étois dans un lieu élevé, et le Soleil se couchoit dans une gorge de montagne, en sorte qu'il me paroissoit fort abaissé au-dessous de mon horizon : le ciel étoit serein, à l'exception du couchant, qui, quoiqu'exempt de nuages, étoit chargé d'un rideau transparent de vapeurs d'un jaune rougeâtre, le Soleil lui-

même fort rouge, et sa grandeur apparente au moins quadruple de ce qu'elle est à midi. Je vis donc très-distinctement les ombres des arbres qui étoient à vingt et trente pieds de la muraille blanche, colorées d'un verd tendre tirant un peu sur le bleu; l'ombre d'un treillage qui étoit à trois pieds de la muraille, étoit parfaitement dessinée sur cette muraille, comme si on l'avoit nouvellement peinte en verd-de-gris. Cette apparence dura près de cinq minutes, après quoi la couleur s'affoiblit avec la lumière du Soleil, et ne disparut entièrement qu'avec les ombres. Le lendemain, au lever du Soleil, j'allai regarder d'autres ombres sur une muraille blanche; mais au lieu de les trouver vertes, comme je m'y attendois, je les trouvai bleues, ou plutôt de la couleur de l'indigo le plus vif. Le ciel étoit serein, et il n'y avoit qu'un petit rideau de vapeurs jaunâtres au levant : le Soleil se levoit sur une colline, en sorte qu'il me paroissoit élevé au-dessus de mon horizon. Les ombres bleues ne durèrent que trois minutes, après quoi elles me parurent noires. Le même jour, je revis, au coucher du Soleil, les ombres vertes, comme je les avois vues la

veille. Six jours se passèrent ensuite sans pouvoir observer les ombres au coucher du Soleil, parce qu'il étoit toujours couvert de nuages. Le septième jour, je vis le Soleil à son coucher; les ombres n'étoient plus vertes, mais d'un beau bleu d'azur : je remarquai que les vapeurs n'étoient pas fort abondantes, et que le Soleil ayant avancé pendant sept jours, se couchoit derrière un rocher qui le faisoit disparoître avant qu'il pût s'abaisser au-dessous de mon horizon. Depuis ce temps, j'ai très-souvent observé les ombres, soit au lever, soit au coucher du Soleil, et je ne les ai vues que bleues, quelquefois d'un bleu fort vif, d'autres fois d'un bleu pâle, d'un bleu foncé, mais constamment bleues.

Ce Mémoire a été imprimé dans ceux de l'académie royale des sciences, année 1743. Voici ce que je crois devoir y ajouter aujourd'hui (année 1773).

Des observations plus fréquentes m'ont fait reconnoître que les ombres ne paroissent jamais vertes au lever ou au coucher du Soleil, que quand l'horizon est chargé de beaucoup de vapeurs rouges; dans tout autre cas, les ombres sont toujours bleues, et d'autant

plus bleues que le ciel est plus serein. Cette couleur bleue des ombres n'est autre chose que la couleur même de l'air; et je ne sais pourquoi quelques physiciens ont défini l'air *un fluide invisible, inodore, insipide,* puisqu'il est certain que l'azur céleste n'est autre chose que la couleur de l'air; qu'à la vérité il faut une grande épaisseur d'air pour que notre œil s'apperçoive de la couleur de cet élément ; mais que néanmoins lorsqu'on regarde de loin des objets sombres , on les voit toujours plus ou moins bleus. Cette observation, que les physiciens n'avoient pas faite sur les ombres et sur les objets sombres vus de loin , n'avoit pas échappé aux habiles peintres, et elle doit en effet servir de base à la couleur des objets lointains, qui tous auront une nuance bleuâtre d'autant plus sensible qu'ils seront supposés plus éloignés du point de vue.

On pourra me demander comment cette couleur bleue, qui n'est sensible à notre œil que quand il y a une très-grande épaisseur d'air, se marque néanmoins si fortement à quelques pieds de distance au lever et au coucher du Soleil; comment il est possible

que cette couleur de l'air, qui est à peine sensible à dix mille toises de distance, puisse donner à l'ombre noire d'un treillage qui n'est éloigné de la muraille blanche que de trois pieds, une couleur du plus beau bleu : c'est en effet de la solution de cette question que dépend l'explication du phénomène. Il est certain que la petite épaisseur d'air qui n'est que de trois pieds entre le treillage et la muraille, ne peut pas donner à la couleur noire de l'ombre une nuance aussi forte de bleu : si cela étoit, on verroit à midi et dans tous les autres temps du jour les ombres bleues comme on les voit au lever et au coucher du Soleil. Ainsi cette apparence ne dépend pas uniquement, ni même presque point du tout, de l'épaisseur de l'air entre l'objet et l'ombre. Mais il faut considérer qu'au lever et au coucher du Soleil, la lumière de cet astre étant affoiblie à la surface de la Terre, autant qu'elle peut l'être par la plus grande obliquité de cet astre, les ombres sont moins denses, c'est-à-dire, moins noires dans la même proportion, et qu'en même temps la Terre n'étant plus éclairée que par cette foible lumière du

Soleil, qui ne fait qu'en raser la superficie, la masse de l'air, qui est plus élevée, et qui par conséquent reçoit encore la lumière du Soleil bien moins obliquement, nous renvoie cette lumière, et nous éclaire alors autant et peut-être plus que le Soleil. Or cet air pur et bleu ne peut nous éclairer qu'en nous renvoyant une grande quantité de rayons de sa même couleur bleue; et lorsque ces rayons bleus que l'air réfléchit, tomberont sur des objets privés de toute autre couleur comme les ombres, ils les teindront d'une plus ou moins forte nuance de bleu, selon qu'il y aura moins de lumière directe du Soleil, et plus de lumière réfléchie de l'atmosphère. Je pourrois ajouter plusieurs autres choses qui viendroient à l'appui de cette explication; mais je pense que ce que je viens de dire est suffisant pour que les bons esprits l'entendent et en soient satisfaits.

Je crois devoir citer ici quelques faits observés par M. l'abbé Millot, ancien grand vicaire de Lyon, qui a eu la bonté de me les communiquer par ses lettres des 18 août 1754 et 10 février 1755, dont voici l'extrait. « Ce n'est pas seulement au lever et au cou-

« cher du Soleil que les ombres se colorent.
« A midi, le ciel étant couvert de nuages,
« excepté en quelques endroits, vis-à-vis
« d'une de ces ouvertures que laissoient entre
« eux les nuages, j'ai fait tomber des ombres
« d'un fort beau bleu sur du papier blanc, à
« quelques pas d'une fenêtre. Les nuages
« s'étant joints, le bleu disparut. J'ajouterai
« en passant que plus d'une fois j'ai vu l'azur
« du ciel se peindre comme dans un miroir,
« sur une muraille où la lumière tomboit
« obliquement. Mais voici d'autres observa-
« tions plus importantes, à mon avis; avant
« que d'en faire le détail, je suis obligé de
« tracer la topographie de ma chambre. Elle
« est à un troisième étage; la fenêtre près
« d'un angle au couchant, la porte presque
« vis-à-vis. Cette porte donne dans une gale-
« rie, au bout de laquelle, à deux pas de
« distance, est une fenêtre située au midi.
« Les jours des deux fenêtres se réunissent,
« la porte étant ouverte contre une des mu-
« railles; et c'est là que j'ai vu des ombres
« colorées presque à toute heure, mais princi-
« palement sur les dix heures du matin. Les
« rayons du Soleil, que la fenêtre de la gale-

« rie reçoit encore obliquement, ne tombent « point, par celle de la chambre, sur la mu- « raille dont je viens de parler. Je place à quel- « ques pouces de cette muraille des chaises « de bois à dossier percé. Les ombres en sont « alors de couleurs quelquefois très-vives. « J'en ai vu qui, quoique projetées du même « côté, étoient l'une d'un verd foncé, l'autre « d'un bel azur. Quand la lumière est telle- « ment ménagée, que les ombres soient éga- « lement sensibles de part et d'autre, celle « qui est opposée à la fenêtre de la chambre « est ou bleue ou violette; l'autre tantôt verte, « tantôt jaunâtre. Celle-ci est accompagnée « d'une espèce de pénombre bien colorée, qui « forme comme une double bordure bleue « d'un côté, et de l'autre verte ou rouge ou « jaune, selon l'intensité de la lumière. Que « je ferme les volets de ma fenêtre, les cou- « leurs de cette pénombre n'en ont souvent « que plus d'éclat; elles disparoissent si je « ferme la porte à moitié. Je dois ajouter que « le phénomène n'est pas à beaucoup près si « sensible en hiver. Ma fenêtre est au cou- « chant d'été : je fis mes premières expé- « riences dans cette saison, dans un temps

« où les rayons du Soleil tomboient obli-
« quement sur la muraille qui fait angle
« avec celle où les ombres se coloroient. »

On voit par ces observations de M. l'abbé Millot, qu'il suffit que la lumière du Soleil tombe très-obliquement sur une surface, pour que l'azur du ciel, dont la lumière tombe toujours directement, s'y peigne et colore les ombres : mais les autres apparences dont il fait mention, ne dépendent que de la position des lieux et d'autres circonstances accessoires.

HUITIÈME MÉMOIRE.

Expériences sur la pesanteur du feu, et sur la durée de l'incandescence.

Je crois devoir rappeler ici quelques unes des choses que j'ai dites dans l'introduction qui précède ces Mémoires, afin que ceux qui ne les auroient pas bien présentes, puissent néanmoins entendre ce qui fait l'objet de celui-ci. Le feu ne peut guère exister sans lumière et jamais sans chaleur, tandis que la lumière existe souvent sans chaleur sensible, comme la chaleur existe encore plus souvent sans lumière: l'on peut donc considérer la lumière et la chaleur comme deux propriétés du feu, ou plutôt comme les deux seuls effets par lesquels nous le reconnoissons : mais nous avons montré que ces deux effets ou ces deux propriétés ne sont pas toujours essentiellement liés ensemble, que souvent ils ne sont ni simultanés ni contemporains, puisque, dans de certaines cir-

constances, on sent de la chaleur long-temps avant que la lumière paroisse, et que, dans d'autres circonstances, on voit de la lumière long-temps avant de sentir de la chaleur, et même souvent sans en sentir aucune; et nous avons dit que, pour raisonner juste sur la nature du feu, il falloit auparavant tâcher de reconnoître celle de la lumière et celle de la chaleur, qui sont les principes réels dont l'élément du feu nous paroît être composé.

Nous avons vu que la lumière est une matière mobile, élastique et pesante, c'est-à-dire, susceptible d'attraction, comme toutes les autres matières : on a démontré qu'elle est mobile, et même on a déterminé le degré de sa vîtesse immense par le très-petit temps qu'elle emploie à venir des satellites de Jupiter jusqu'à nous; on a reconnu son élasticité, qui est presque infinie, par l'égalité de l'angle de son incidence et de celui de sa réflexion; enfin sa pesanteur, ou, ce qui revient au même, son attraction vers les autres matières, est aussi démontrée par l'inflexion qu'elle souffre toutes les fois qu'elle passe auprès des autres corps. On ne peut donc pas douter que la substance de la lumière ne

soit une vraie matière, laquelle, indépendamment de ses qualités propres et particulières, a aussi les propriétés générales et communes à toute autre matière. Il en est de même de la chaleur : c'est une matière qui ne diffère pas beaucoup de celle de la lumière; et ce n'est peut-être que la lumière elle-même qui, quand elle est très-forte ou réunie en grande quantité, change de forme, diminue de vîtesse, et, au lieu d'agir sur le sens de la vue, affecte les organes du toucher. On peut donc dire que, relativement à nous, la chaleur n'est que le toucher de la lumière, et qu'en elle-même la chaleur n'est qu'un des effets du feu sur les corps; effet qui se modifie suivant les différentes substances, et produit dans toutes une dilatation, c'est-à-dire, une séparation de leurs parties constituantes : et lorsque, par cette dilatation ou séparation, chaque partie se trouve assez éloignée de ses voisines pour être hors de leur sphère d'attraction, les matières solides, qui n'étoient d'abord que dilatées par la chaleur, deviennent fluides, et ne peuvent reprendre leur solidité qu'autant que la chaleur se dissipe, et permet aux parties désunies de se

rapprocher et se joindre d'aussi près qu'auparavant *.

Ainsi toute fluidité a la chaleur pour cause, et toute dilatation dans les corps doit être regardée comme une fluidité commençante; or nous avons trouvé, par l'expérience, que les temps du progrès de la chaleur dans les corps, soit pour l'entrée, soit pour la sortie, sont toujours en raison de leur fluidité ou de leur fusibilité, et il doit s'ensuivre que leurs dilatations respectives

* Je sais que quelques chimistes prétendent que les métaux rendus fluides par le feu ont plus de pesanteur spécifique que quand ils sont solides: mais j'ai de la peine à le croire; car il s'ensuivroit que leur état de dilatation où cette pesanteur spécifique est moindre ne seroit pas le premier degré de leur état de fusion, ce qui néanmoins paroît indubitable. L'expérience sur laquelle ils fondent leur opinion, c'est que le métal en fusion supporte le même métal solide, et qu'on le voit nager à la surface du métal fondu: mais je pense que cet effet ne vient que de la répulsion causée par la chaleur, et ne doit point être attribué à la pesanteur spécifique plus grande du métal en fusion; je suis au contraire très-persuadé qu'elle est moindre que celle du métal solide.

doivent être en même raison. Je n'ai pas eu besoin de tenter de nouvelles expériences pour m'assurer de la vérité de cette conséquence générale; M. Musschenbroëck en ayant fait de très-exactes sur la dilatation de différens métaux, j'ai comparé ses expériences avec les miennes, et j'ai vu, comme je m'y attendois, que les corps les plus lents à recevoir et perdre la chaleur, sont aussi ceux qui se dilatent le moins promptement, et que ceux qui sont les plus prompts à s'échauffer et à se refroidir, sont ceux qui se dilatent le plus vîte; en sorte qu'à commencer par le fer, qui est le moins fluide de tous les corps, et finir par le mercure, qui est le plus fluide, la dilatation dans toutes les différentes matières se fait en même raison que le progrès de la chaleur dans ces mêmes matières.

Lorsque je dis que le fer est le plus solide, c'est-à-dire, le moins fluide de tous les corps, je n'avance rien que l'expérience ne m'ait jusqu'à présent démontré; cependant il pourroit se faire que la platine, comme je l'ai remarqué ci-devant, étant encore moins fusible que le fer, la dilatation y seroit moindre, et le progrès de la chaleur plus lent que

dans le fer : mais je n'ai pu avoir de ce minéral qu'en grenaille ; et pour faire l'expérience de la fusibilité et la comparer à celle des autres métaux, il faudroit en avoir une masse d'un pouce de diamètre, trouvée dans la mine même : toute la platine que j'ai pu trouver en masse, a été fondue par l'addition d'autres matières, et n'est pas assez pure pour qu'on puisse s'en servir à des expériences qu'on ne doit faire que sur des matières pures et simples ; et celle que j'ai fait fondre moi-même sans addition, étoit encore en trop petit volume pour pouvoir la comparer exactement.

Ce qui me confirme dans cette idée, que la platine pourroit être l'extrême en *non-fluidité* de toutes les matières connues, c'est la quantité de fer pur qu'elle contient, puisqu'elle est presque toute attirable par l'aimant : ce minéral, comme je l'ai dit, pourroit donc bien n'être qu'une matière ferrugineuse plus condensée et spécifiquement plus pesante que le fer ordinaire, intimement unie avec une grande quantité d'or, et par conséquent, étant moins fusible que le fer, recevroit encore plus difficilement la chaleur.

De même, lorsque je dis que le mercure est le plus fluide de tous les corps, je n'entends que les corps sur lesquels on peut faire des expériences exactes; car je n'ignore pas, puisque tout le monde le sait, que l'air ne soit encore beaucoup plus fluide que le mercure : et en cela même la loi que j'ai donnée sur le progrès de la chaleur est encore confirmée; car l'air s'échauffe et se refroidit, pour ainsi dire, en un instant; il se condense par le froid, et se dilate par la chaleur plus qu'aucun autre corps, et néanmoins le froid le plus excessif ne le condense pas assez pour lui faire perdre sa fluidité, tandis que le mercure perd la sienne à 187 degrés de froid au-dessous de la congélation de l'eau, et pourroit la perdre à un degré de froid beaucoup moindre, si on le réduisoit en vapeur. Il subsiste donc encore un peu de chaleur au-dessous de ce froid excessif de 187 degrés, et par conséquent le degré de la congélation de l'eau, que tous les constructeurs de thermomètres ont regardé comme la limite de la chaleur, et comme un terme où l'on doit la supposer égale à zéro, est au contraire un degré réel de l'échelle de la

chaleur; degré où non seulement la quantité de chaleur subsistante n'est pas nulle, mais où cette quantité de chaleur est très-considérable, puisque c'est à peu près le point milieu entre le degré de la congélation du mercure et celui de la chaleur nécessaire pour fondre le bismuth, qui est de 190 degrés, lequel ne diffère guère de 187 au-dessus du terme de la glace que comme l'autre en diffère au-dessous.

Je regarde donc la chaleur comme une matière réelle qui doit avoir son poids, comme toute autre matière, et j'ai dit en conséquence que, pour reconnoître si le feu a une pesanteur sensible, il faudroit faire l'expérience sur de grandes masses pénétrées de feu, et les peser dans cet état, et qu'on trouveroit peut-être une différence assez sensible pour qu'on en pût conclure la pesanteur du feu ou de la chaleur qui m'en paroît être la substance la plus matérielle : la lumière et la chaleur sont les deux élemens matériels du feu, ces deux élémens réunis ne sont que le feu même, et ces deux matières nous affectent chacune sous leur forme propre, c'est-à-dire, d'une manière différente. Or, comme

il n'existe aucune forme sans matière, il est clair que quelque subtile qu'on suppose la substance de la lumière, de la chaleur ou du feu, elle est sujette, comme toute autre matière, à la loi générale de l'attraction universelle : car, comme nous l'avons dit, quoique la lumière soit douée d'un ressort presque parfait, et que par conséquent ses parties tendent avec une force presque infinie à s'éloigner des corps qui la produisent, nous avons démontré que cette force expansive ne détruit pas celle de la pesanteur; on le voit par l'exemple de l'air, qui est très-élastique, et dont les parties tendent avec force à s'éloigner les unes des autres, qui ne laisse pas d'être pesant. Ainsi la force par laquelle les parties de l'air ou du feu tendent à s'éloigner et s'éloignent en effet les unes des autres, ne fait que diminuer la masse, c'est-à-dire, la densité de ces matières, et leur pesanteur sera toujours proportionnelle à cette densité : si donc l'on vient à bout de reconnoître la pesanteur du feu par l'expérience de la balance, on pourra peut-être quelque jour en déduire la densité de cet élément, et raisonner ensuite sur la pesanteur

et l'élasticité du feu avec autant de fondement que sur la pesanteur et l'élasticité de l'air.

J'avoue que cette expérience, qui ne peut être faite qu'en grand, paroît d'abord assez difficile, parce qu'une forte balance, et telle qu'il la faudroit pour supporter plusieurs milliers, ne pourroit être assez sensible pour indiquer une petite différence qui ne seroit que de quelques gros. Il y a ici, comme en tout, un *maximum* de précision, qui probablement ne se trouve ni dans la plus petite ni dans la plus grande balance possible. Par exemple, je crois que si dans une balance avec laquelle on peut peser une livre, l'on arrive à un point de précision d'un douzième de grain, il n'est pas sûr qu'on pût faire une balance pour peser dix milliers, qui pencheroit aussi sensiblement pour une once trois gros quarante-un grains, ce qui est la différence proportionnelle de 1 à 10000, ou qu'au contraire, si cette grosse balance indiquoit clairement cette différence, la petite balance n'indiqueroit pas également bien celle d'un douzième de grain; et que par conséquent nous ignorons quelle doit être pour un poids donné la balance la plus exacte.

Les personnes qui s'occupent de physique expérimentale, devroient faire la recherche de ce problême, dont la solution, qu'on ne peut obtenir que par l'expérience, donneroit le *maximum* de précision de toutes les balances. L'un des plus grands moyens d'avancer les sciences, c'est d'en perfectionner les instrumens. Nos balances le sont assez pour peser l'air : avec un degré de perfection de plus, on viendroit à bout de peser le feu et même la chaleur.

Les boulets rouges de quatre pouces et demi et de cinq pouces de diamètre, que j'avois laissé refroidir dans ma balance *, avoient perdu sept, huit et dix grains chacun en se refroidissant; mais plusieurs raisons m'ont empèché de regarder cette petite diminution comme la quantité réelle du poids de la chaleur. Car, 1°. le fer, comme on l'a vu par le résultat de mes expériences, est une matière que le feu dévore, puisqu'il la rend spécifiquement plus légère : ainsi l'on peut attribuer cette diminution de poids à l'évaporation des parties du fer enlevées par le

* Voyez les expériences du premier Mémoire, tome IV, page 300 et suiv.

feu. 2°. Le fer jette des étincelles en grande quantité lorsqu'il est rougi à blanc, il en jette encore quelques unes lorsqu'il n'est que rouge, et ces étincelles sont des parties de matière dont il faut défalquer le poids de celui de la diminution totale; et, comme il n'est pas possible de recueillir toutes ces étincelles, ni d'en connoître le poids, il n'est pas possible non plus de savoir combien cette perte diminue la pesanteur des boulets. 3°. Je me suis apperçu que le fer demeure rouge et jette de petites étincelles bien plus long-temps qu'on ne l'imagine; car quoiqu'au grand jour il perde sa lumière et paroisse noir au bout de quelques minutes, si on le transporte dans un lieu obscur, on le voit lumineux, et on apperçoit les petites étincelles qu'il continue de lancer pendant quelques autres minutes. 4°. Enfin les expériences sur les boulets me laissoient quelque scrupule, parce que la balance dont je me servois alors, quoique bonne, ne me paroissoit pas assez précise pour saisir au juste le poids réel d'une matière aussi légère que le feu. Ayant donc fait construire une balance capable de porter aisément cinquante livres

de chaque côté, à l'exécution de laquelle M. le Roy, de l'académie des sciences, a bien voulu, à ma prière, donner toute l'attention nécessaire, j'ai eu la satisfaction de reconnoître à peu près la pesanteur relative du feu. Cette balance chargée de cinquante livres de chaque côté, penchoit assez sensiblement par l'addition de vingt-quatre grains; et, chargée de vingt-cinq livres, elle penchoit par l'addition de huit grains seulement.

Pour rendre cette balance plus ou moins sensible, M. le Roy a fait visser sur l'aiguille une masse de plomb, qui, s'élevant et s'abaissant, change le centre de gravité; de sorte qu'on peut augmenter de près de moitié la sensibilité de la balance. Mais, par le grand nombre d'expériences que j'ai faites de cette balance et de quelques autres, j'ai reconnu qu'en général plus une balance est sensible, et moins elle est *sage* : les caprices, tant au physique qu'au moral, semblent être des attributs inséparables de la grande sensibilité. Les balances très-sensibles sont si capricieuses, qu'elles ne parlent jamais de la même façon : aujourd'hui elles vous indiquent le poids à un millième près, et demain elles ne le donnent

qu'à une moitié, c'est-à-dire, à un cinq-centième près, au lieu d'un millième. Une balance moins sensible est plus constante, plus fidèle ; et, tout considéré, il vaut mieux, pour l'usage froid qu'on fait d'une balance, la choisir sage que de la prendre ou la rendre trop sensible.

Pour peser exactement des masses pénétrées de feu, j'ai commencé par faire garnir de tôle les bassins de cuivre et les chaînes de la balance, afin de ne les pas endommager; et après en avoir bien établi l'équilibre à son moindre degré de sensibilité, j'ai fait porter sur l'un des bassins une masse de fer rougi à blanc, qui provenoit de la seconde chaude qu'on donne à l'affinerie après avoir battu au marteau la loupe qu'on appelle *renard* : je fais cette remarque, parce que mon fer, dès cette seconde chaude, ne donne presque plus de flamme, et ne paroît pas se consumer comme il se consume et brûle à la première chaude, et que, quoiqu'il soit blanc de feu, il ne jette qu'un petit nombre d'étincelles avant d'être mis sous le marteau.

I.

UNE masse de fer rougi à blanc s'est trouvée peser précisément 49 livres 9 onces ; l'ayant enlevée doucement du bassin de la balance et posée sur une pièce d'autre fer, où on la laissoit refroidir sans la toucher, elle s'est trouvée, après son refroidissement au degré de la température de l'air, qui étoit alors celui de la congélation, ne peser que 49 livres 7 onces juste : ainsi elle a perdu 2 onces pendant son refroidissement. On observera qu'elle ne jetoit aucune étincelle, aucune vapeur assez sensible pour ne devoir pas être regardée comme la pure émanation du feu. Ainsi l'on pourroit croire que la quantité de feu contenue dans cette masse de 49 livres 9 onces étant de 2 onces, elle formoit environ $\frac{1}{396}$ ou $\frac{1}{397}$ du poids de la masse totale. On a remis ensuite cette masse refroidie au feu de l'affinerie; et l'ayant fait chauffer à blanc comme la première fois et porter au marteau, elle s'est trouvée, après avoir été malléée et refroidie, ne peser que 47 livres 12 onces 3 gros ; ainsi le déchet de cette chaude, tant au feu qu'au marteau, étoit

de 1 livre 10 onces 5 gros : et ayant fait donner une seconde et une troisième chaude à cette pièce pour achever la barre, elle ne pesoit plus que 43 livres 7 onces 7 gros : ainsi son déchet total, tant par l'évaporation du feu que par la purification du fer à l'affinerie et sous le marteau, s'est trouvé de 6 livres 1 once 1 gros sur 49 livres 9 onces ; ce qui ne va pas tout-à-fait au huitième.

Une seconde pièce de fer, prise de même au sortir de l'affinerie à la première chaude, et pesée rouge-blanc, s'est trouvée du poids de 38 livres 15 onces 5 gros 36 grains ; et ensuite, pesée froide, de 38 livres 14 onces 36 grains : ainsi elle a perdu 1 once 5 gros en se refroidissant ; ce qui fait environ $\frac{1}{384}$ du poids total de sa masse.

Une troisième pièce de fer, prise de même au sortir du feu de l'affinerie après la première chaude, et pesée rouge-blanc, s'est trouvée du poids de 45 livres 12 onces 6 gros, et, pesée froide, de 45 livres 11 onces 2 gros : ainsi elle a perdu 1 once 4 gros en se refroidissant ; ce qui fait environ $\frac{1}{489}$ de son poids total.

Une quatrième pièce de fer, prise de même

après la première chaude, et pesée rouge-blanc, s'est trouvée du poids de 48 livres 11 onces 6 gros, et, pesée après son refroidissement, de 48 livres 10 onces juste : ainsi elle a perdu, en se refroidissant, 14 gros ; ce qui fait environ $\frac{1}{447}$ du poids de la masse totale.

Enfin une cinquième pièce de fer, prise de même après la première chaude, et pesée rouge-blanc, s'est trouvée du poids de 49 livres 11 onces, et, pesée après son refroidissement, de 49 livres 9 onces 1 gros : ainsi elle a perdu, en se refroidissant, 15 gros ; ce qui fait $\frac{1}{424}$ du poids total de sa masse.

En réunissant les résultats des cinq expériences pour en prendre la mesure commune, on peut assurer que le fer chauffé à blanc, et qui n'a reçu que deux volées de coups de marteau, perd, en se refroidissant, $\frac{1}{421}$ de sa masse.

II.

Une pièce de fer qui avoit reçu quatre volées de coups de marteau, et par conséquent toutes les chaudes nécessaires pour être entièrement et parfaitement forgée, et qui

pesoit 14 livres 4 gros, ayant été chauffée à blanc, ne pesoit plus que 13 livres 12 onces dans cet état d'incandescence, et 13 livres 11 onces 4 gros après son entier refroidissement; d'où l'on peut conclure que la quantité de feu dont cette pièce de fer étoit pénétrée, faisoit $\frac{1}{440}$ de son poids total.

Une seconde pièce de fer entièrement forgée, et de même qualité que la précédente, pesoit froide 13 livres 7 onces 6 gros; chauffée à blanc, 13 livres 6 onces 7 gros; et refroidie, 13 livres 6 onces 3 gros; ce qui donne $\frac{1}{430}$ à très-peu près dont elle a diminué en se refroidissant.

Une troisième pièce de fer, forgée de même que les précédentes, pesoit froide 13 livres 1 gros, et, chauffée au dernier degré, en sorte qu'elle étoit non seulement blanche, mais bouillonnante et pétillante de feu, s'est trouvée peser 12 livres 9 onces 7 gros dans cet état d'incandescence; et refroidie à la température actuelle, qui étoit de 16 degrés au-dessus de la congélation, elle ne pesoit plus que 12 livres 9 onces 3 gros; ce qui donne $\frac{1}{404}$ à très-peu près pour la quantité qu'elle a perdue en se refroidissant.

Prenant le terme moyen des résultats de ces trois expériences, on peut assurer que le fer parfaitement forgé et de la meilleure qualité, chauffé à blanc, perd, en se refroidissant, environ $\frac{1}{425}$ de sa masse.

I I I.

Un morceau de fer en gueuse, pesé très-rouge, environ 20 minutes après sa coulée, s'est trouvé du poids de 33 livres 10 onces; et lorsqu'il a été refroidi, il ne pesoit plus que 33 livres 9 onces : ainsi il a perdu 1 once, c'est-à-dire, $\frac{1}{538}$ de son poids ou masse totale en se refroidissant.

Un second morceau de fonte, pris de même très-rouge, pesoit 22 livres 8 onces 3 gros; et lorsqu'il a été refroidi, il ne pesoit plus que 22 livres 7 onces 5 gros; ce qui donne $\frac{1}{480}$ pour la quantité qu'il a perdue en se refroidissant.

Un troisième morceau de fonte qui pesoit chaud 16 livres 6 onces 3 gros $\frac{1}{2}$, ne pesoit que 16 livres 5 onces 7 gros $\frac{1}{2}$ lorsqu'il fut refroidi; ce qui donne $\frac{1}{525}$ pour la quantité qu'il a perdue en se refroidissant.

Prenant le terme moyen des résultats de ces trois expériences sur la fonte pesée chaude couleur de cerise, on peut assurer qu'elle perd, en se refroidissant, environ $\frac{1}{514}$ de sa masse; ce qui fait une moindre diminution que celle du fer forgé : mais la raison en est que le fer forgé a été chauffé à blanc dans toutes nos expériences, au lieu que la fonte n'étoit que d'un rouge couleur de cerise lorsqu'on l'a pesée, et que par conséquent elle n'étoit pas pénétrée d'autant de feu que le fer; car on observera qu'on ne peut chauffer à blanc la fonte de fer sans l'enflammer et la brûler en partie, en sorte que je me suis déterminé à la faire peser seulement rouge, et au moment où elle vient de prendre sa consistance dans le moule, au sortir du fourneau de fusion.

I V.

On a pris sur la dame du fourneau des morceaux du laitier le plus pur et qui formoit du très-beau verre de couleur verdâtre.

Le premier morceau pesoit chaud 6 livres 14 onces 2 gros $\frac{1}{2}$; et refroidi, il ne pesoit que 6 livres 14 onces 1 gros; ce qui donne

$\frac{1}{588}$ pour la quantité qu'il a perdue en se refroidissant.

Un second morceau de laitier, semblable au précédent, a pesé chaud 5 livres 8 onces 6 gros $\frac{1}{4}$; et refroidi, 5 livres 8 onces 5 gros; ce qui donne $\frac{1}{568}$ pour la quantité dont il a diminué en se refroidissant.

Un troisième morceau, pris de même sur la dame du fourneau, mais un peu moins ardent que le précédent, a pesé chaud 4 livres 7 onces 4 gros $\frac{1}{2}$; et refroidi, 4 livres 7 onces 3 gros $\frac{1}{2}$; ce qui donne $\frac{1}{572}$ pour la quantité dont il a diminué en se refroidissant.

Un quatrième morceau de laitier, qui étoit de verre solide et pur, et qui pesoit froid 2 livres 14 onces 1 gros, ayant été chauffé jusqu'au rouge couleur de feu, s'est trouvé peser 2 livres 14 onces 1 gros $\frac{2}{3}$; ensuite, après son refroidissement, il a pesé, comme avant d'avoir été chauffé, 2 livres 14 onces 1 gros juste; ce qui donne $\frac{1}{553\frac{1}{2}}$ pour le poids de la quantité de feu dont il étoit pénétré.

Prenant le terme des résultats de ces quatre expériences sur le verre pesé chaud couleur de feu, on peut assurer qu'il perd en se refroidissant $\frac{1}{570}$; ce qui me paroît être le vrai

poids du feu, relativement au poids total des matières qui en sont pénétrées : car ce verre ou laitier ne se brûle ni ne se consume au feu ; il ne perd rien de son poids, et se trouve seulement peser $\frac{1}{170}$ de plus lorsqu'il est pénétré de feu.

V.

J'AI tenté plusieurs expériences semblables sur le grès ; mais elles n'ont pas si bien réussi. La plupart des espèces de grès s'égrenant au feu, on ne peut les chauffer qu'à demi, et ceux qui sont assez durs et d'une assez bonne qualité pour supporter, sans s'égrener, un feu violent, se couvrent d'émail ; il y a d'ailleurs dans presque tous des espèces de clous noirs et ferrugineux qui brûlent dans l'opération. Le seul fait certain que j'ai pu tirer de sept expériences sur différens morceaux de grès dur, c'est qu'il ne gagne rien au feu, et qu'il n'y perd que très-peu. J'avois déja trouvé la même chose par les expériences rapportées dans le premier Mémoire.

De toutes ces expériences, je crois qu'on doit conclure :

1°. Que le feu a, comme toute autre ma-

tière, une pesanteur réelle, dont on peut connoître le rapport à la balance dans les substances qui, comme le verre, ne peuvent être altérées par son action, et dans lesquelles il ne fait, pour ainsi dire, que passer, sans y rien laisser et sans en rien enlever.

2°. Que la quantité de feu nécessaire pour rougir une masse quelconque, et lui donner sa couleur et sa chaleur, pèse $\frac{1}{570}$, ou, si l'on veut, une six-centième partie de cette masse; en sorte que si elle pèse froide 600 livres, elle pesera chaude 601 livres lorsqu'elle sera rouge couleur de feu.

3°. Que dans les matières qui, comme le fer, sont susceptibles d'un plus grand degré de feu, et peuvent être chauffées à blanc sans se fondre, la quantité de feu dont elles sont alors pénétrées, est environ d'un sixième plus grande; en sorte que sur 500 livres de fer il se trouve une livre de feu. Nous avons même trouvé plus par les expériences précédentes, puisque leur résultat commun donne $\frac{1}{425}$; mais il faut observer que le fer, ainsi que toutes les substances métalliques, se consume un peu en se refroidissant, et qu'il diminue toutes les fois qu'on y applique

le feu : cette différence entre $\frac{1}{500}$ et $\frac{1}{425}$ provient donc de cette diminution; le fer, qui perd une quantité très-sensible dans le feu, continue à perdre un peu tant qu'il en est pénétré, et par conséquent sa masse totale se trouve plus diminuée que celle du verre, que le feu ne peut consumer, ni brûler, ni volatiliser.

Je viens de dire qu'il en est de toutes les substances métalliques comme du fer, c'est-à-dire, que toutes perdent quelque chose par la longue ou la violente action du feu, et je puis le prouver par des expériences incontestables sur l'or et sur l'argent, qui, de tous les métaux, sont les plus fixes et les moins sujets à être altérés par le feu. J'ai exposé au foyer du miroir ardent des plaques d'argent pur, et des morceaux d'or aussi pur; je les ai vus fumer abondamment et pendant un très-long temps : il n'est donc pas douteux que ces métaux ne perdent quelque chose de leur substance par l'application du feu; et j'ai été informé depuis, que cette matière qui s'échappe de ces métaux et s'élève en fumée, n'est autre chose que le métal même volatilisé, puisqu'on peut dorer

ou argenter à cette fumée métallique les corps qui la reçoivent.

Le feu, sur-tout appliqué long-temps, volatilise donc peu à peu ces métaux, qu'il semble ne pouvoir brûler ni détruire d'aucune autre manière; et en les volatilisant il n'en change pas la nature, puisque cette fumée qui s'en échappe est encore du métal qui conserve toutes ses propriétés. Or il ne faut pas un feu bien violent pour produire cette fumée métallique; elle paroît à un degré de chaleur au-dessous de celui qui est nécessaire pour la fusion de ces métaux. C'est de cette même manière que l'or et l'argent se sont sublimés dans le sein de la Terre: ils ont d'abord été fondus par la chaleur excessive du premier état du globe, où tout étoit en liquéfaction; et ensuite la chaleur moins forte, mais constante, de l'intérieur de la Terre les a volatilisés, et a poussé ces fumées métalliques jusqu'au sommet des plus hautes montagnes, où elles se sont accumulées en grains ou attachées en vapeurs aux sables et aux autres matières dans lesquelles on les trouve aujourd'hui. Les paillettes d'or que l'eau roule avec les sables,

tirent leur origine, soit des masses d'or fondues par le feu primitif, soit des surfaces dorées par cette sublimation, desquelles l'action de l'air et de l'eau les détache et les sépare.

Mais revenons à l'objet immédiat de nos expériences. Il me paroît qu'elles ne laissent aucun doute sur la pesanteur réelle du feu, et qu'on peut assurer, en conséquence de leurs résultats, que toute matière solide pénétrée de cet élément autant qu'elle peut l'être par l'application que nous savons en faire, est au moins d'une six-centième partie plus pesante que dans l'état de la température actuelle, et qu'il faut une livre de matière ignée pour donner à 600 livres de toute autre matière l'état d'incandescence jusqu'au rouge couleur de feu, et environ une livre sur 500 pour que l'incandescence soit jusqu'au blanc ou jusqu'à la fusion; en sorte que le fer chauffé à blanc, ou le verre en fusion, contiennent dans cet état $\frac{1}{500}$ de matière ignée dont leur propre substance est pénétrée.

Mais cette grande vérité, qui paroîtra nouvelle aux physiciens, et de laquelle on pourra tirer des conséquences utiles, ne nous

apprend pas encore ce qu'il seroit cependant le plus important de savoir; je veux dire le rapport de la pesanteur du feu à la pesanteur de l'air, ou de la matière ignée à celle des autres matières. Cette recherche suppose de nouvelles découvertes auxquelles je ne suis pas parvenu, et dont je n'ai donné que quelques indications dans mon *Traité des Élémens :* car quoique nous sachions par mes expériences qu'il faut une cinq-centième partie de matière ignée pour donner à toute autre matière l'état de la plus forte incandescence, nous ne savons pas à quel point cette matière ignée y est condensée, comprimée, ni même accumulée, parce que nous n'avons jamais pu la saisir dans un état constant pour la peser ou la mesurer; en sorte que nous n'avons point d'unité à laquelle nous puissions rapporter la mesure de l'état d'incandescence. Tout ce que j'ai donc pu faire à la suite de mes expériences, c'est de rechercher combien il falloit consommer de matière combustible pour faire entrer dans une masse de matière solide cette quantité de matière ignée qui est la cinq-centième partie de la masse en incandescence, et j'ai trouvé,

par des essais réitérés, qu'il falloit brûler 300 livres de charbon au vent de deux soufflets de dix pieds de longueur, pour chauffer à blanc une pièce de fonte de fer de 500 livres pesant. Mais comment mesurer, ni même estimer à peu près la quantité totale de feu produite par ces 300 livres de matière combustible? comment pouvoir comparer la quantité de feu qui se perd dans les airs, avec celle qui s'attache à la pièce de fer, et qui pénètre dans toutes les parties de sa substance? il faudroit pour cela bien d'autres expériences, ou plutôt il faut un art nouveau dans lequel je n'ai pu faire que les premiers pas.

V I.

J'ai fait quelques expériences pour reconnoître combien il faut de temps aux matières qui sont en fusion pour prendre leur consistance, et passer de l'état de fluidité à celui de la solidité; combien de temps il faut pour que la surface prenne sa consistance; combien il en faut de plus pour produire cette même consistance à l'intérieur, et savoir par conséquent combien le centre d'un globe

dont la surface seroit consistante et même refroidie à un certain point, pourroit néanmoins être de temps dans l'état de liquéfaction : voici ces expériences.

SUR LE FER.

N° 1. Le 29 juillet, à 5 heures 43 minutes, moment auquel la fonte de fer a cessé de couler, on a observé que la gueuse a pris de la consistance sur sa face supérieure en 3 minutes à sa tête, c'est-à-dire, à la partie la plus éloignée du fourneau, et en 5 minutes à sa queue, c'est-à-dire, à la partie la plus voisine du fourneau : l'ayant alors fait soulever du moule et casser en cinq endroits, on n'a vu aucune marque de fusibilité intérieure dans les quatre premiers morceaux; seulement dans le morceau cassé le plus près du fourneau, la matière s'est trouvée intérieurement molle, et quelques parties se sont attachées au bout d'un petit ringard, à 5 heures 55 minutes, c'est-à-dire, 12 minutes après la fin de la coulée : on a conservé ce morceau numéroté ainsi que les suivans.

N° 2. Le lendemain, 30 juillet, on a coulé

une autre gueuse à 8 heures 1 minute, et à 8 heures 4 minutes, c'est-à-dire, 3 minutes après, la surface de sa tête étoit consolidée; et en ayant fait casser deux morceaux, il est sorti de leur intérieur une petite quantité de fonte coulante; à 8 heures 7 minutes, il y avoit encore dans l'intérieur des marques évidentes de fusion, en sorte que la surface a pris consistance en 3 minutes, et l'intérieur ne l'avoit pas encore prise en 6 minutes.

N° 3. Le 31 juillet, la gueuse a cessé de couler à midi 35 minutes; sa surface, dans la partie du milieu, avoit pris sa consistance à 39 minutes, c'est-à-dire, en 4 minutes, et l'ayant cassée dans cet endroit à midi 44 minutes, il s'en est écoulé une grande quantité de fonte encore en fusion : on avoit remarqué que la fonte de cette gueuse étoit plus liquide que celle du n° précédent, et on a conservé un morceau cassé dans lequel l'écoulement de la matière intérieure a laissé une cavité profonde de 26 pouces dans l'intérieur de la gueuse. Ainsi la surface ayant pris en 4 minutes sa consistance solide, l'intérieur étoit encore en grande liquéfaction après 8 minutes $\frac{1}{2}$.

N° 4. Le 2 août, à 4 heures 47 minutes, la gueuse qu'on a coulée s'est trouvée d'une fonte très-épaisse, aussi sa surface dans le milieu a pris sa consistance en 3 minutes; et 1 minute ½ après, lorsqu'on l'a cassée, toute la fonte de l'intérieur s'est écoulée, et n'a laissé qu'un tuyau de 6 lignes d'épaisseur sous la face supérieure, et d'un pouce environ d'épaisseur aux autres faces.

N° 5. Le 3 août, dans une gueuse de fonte très-liquide, on a cassé trois morceaux d'environ 2 pieds ½ de long, à commencer du côté de la tête de la gueuse, c'est-à-dire, dans la partie la plus froide du moule et la plus éloignée du fourneau, et l'on a reconnu, comme il étoit naturel de s'y attendre, que la partie intérieure de la gueuse étoit moins consistante à mesure qu'on approchoit du fourneau, et que la cavité intérieure, produite par l'écoulement de la fonte encore liquide, étoit à peu près en raison inverse de la distance au fourneau. Deux causes évidentes concourent à produire cet effet : le moule de la gueuse formé par les sables est d'autant plus échauffé qu'il est plus près du fourneau, et en second lieu il reçoit d'autant

plus de chaleur qu'il y passe une plus grande quantité de fonte. Or la totalité de la fonte qui constitue la gueuse, passe dans la partie du moule où se forme sa queue, auprès de l'ouverture de la coulée, tandis que la tête de la gueuse n'est formée que de l'excédant qui a parcouru le moule entier, et s'est déja refroidie avant d'arriver dans cette partie la plus éloignée du fourneau, la plus froide de toutes, et qui n'est échauffée que par la seule matière qu'elle contient. Aussi de trois morceaux pris à la tête de cette gueuse, la surface du premier, c'est-à-dire, du plus éloigné du fourneau, a pris sa consistance en 1 minute $\frac{1}{2}$; mais tout l'intérieur a coulé au bout de 3 minutes $\frac{1}{2}$. La surface du second a de même pris sa consistance en 1 minute $\frac{1}{2}$, et l'intérieur couloit de même au bout de 3 minutes $\frac{1}{2}$. Enfin la surface du troisième morceau, qui étoit le plus loin de la tête, et qui approchoit du milieu de la gueuse, a pris sa consistance en 1 minute $\frac{3}{4}$, et l'intérieur couloit encore très-abondamment au bout de 4 minutes.

Je dois observer que toutes ces gueuses étoient triangulaires, et que leur face supé-

rieure, qui étoit la plus grande, avoit environ 6 pouces $\frac{1}{2}$ de largeur. Cette face supérieure, qui est exposée à l'action de l'air, se consolide néanmoins plus lentement que les deux faces qui sont dans le sillon où la matière a coulé : l'humidité des sables qui forment cette espèce de moule, refroidit et consolide la fonte plus promptement que l'air; car, dans tous les morceaux que j'ai fait casser, les cavités formées par l'écoulement de la fonte encore liquide étoient bien plus voisines de la face supérieure que des deux autres faces.

Ayant examiné tous ces morceaux après leur refroidissement, j'ai trouvé, 1°. que les morceaux du n° 4 ne s'étoient consolidés que de 6 lignes d'épaisseur sous la face supérieure; 2°. que ceux du n° 5 se sont consolidés de 9 lignes d'épaisseur sous cette même face supérieure; 3°. que les morceaux du n° 2 s'étoient consolidés d'un pouce d'épaisseur sous cette même face; 4°. que les morceaux du n° 3 s'étoient consolidés d'un pouce et demi d'épaisseur sous la même face; et enfin que les morceaux du n° 1 s'étoient consolidés jusqu'à 2 pouces 3 lignes sous cette même face supérieure.

Les épaisseurs consolidées sont donc 6, 9, 12, 18, 27 lignes, et les temps employés à cette consolidation sont 1 $\frac{1}{2}$, 2 ou 2 $\frac{1}{2}$, 3, 4 $\frac{1}{2}$, 7 minutes; ce qui fait à très-peu près le quart numérique des épaisseurs. Ainsi les temps nécessaires pour consolider le métal fluide sont précisément en même raison que celle de leur épaisseur: en sorte que si nous supposons un globe isolé de toutes parts, dont la surface aura pris sa consistance en un temps donné, par exemple, en 3 minutes, il faudra 1 minute $\frac{1}{2}$ de plus pour le consolider à 6 lignes de profondeur, 2 minutes $\frac{1}{4}$ pour le consolider à 9 lignes, 3 minutes pour le consolider à 12 lignes, 4 minutes pour le consolider à 18 lignes, et 7 minutes pour le consolider à 27 ou 28 lignes de profondeur; et par conséquent 36 minutes pour le consolider à 10 pieds de profondeur, etc.

SUR LE VERRE.

AYANT fait couler du laitier dans des moules très-voisins du fourneau, à environ 2 pieds de l'ouverture de la coulée, j'ai reconnu, par plusieurs essais, que la surface

de ces morceaux de laitier prend sa consistance en moins de temps que la fonte de fer, et que l'intérieur se consolidoit aussi beaucoup plus vîte : mais je n'ai pu déterminer, comme je l'ai fait sur le fer, les temps nécessaires pour consolider l'intérieur du verre à différentes épaisseurs; je ne sais même si l'on en viendroit à bout dans un fourneau de verrerie où l'on auroit le verre en masses fort épaisses : tout ce que je puis assurer, c'est que la consolidation du verre, tant à l'extérieur qu'à l'intérieur, est à peu près une fois plus prompte que celle de la fonte du fer. Et en même temps que le premier coup de l'air condense la surface du verre liquide et lui donne une sorte de consistance solide, il la divise et la fêle en une infinité de petites parties, en sorte que le verre saisi par l'air frais ne prend pas une solidité réelle, et qu'il se brise au moindre choc; au lieu qu'en le laissant recuire dans un four très-chaud, il acquiert peu à peu la solidité que nous lui connoissons. Il paroît donc bien difficile de déterminer, par l'expérience, les rapports du temps qu'il faut pour consolider le verre à différentes épaisseurs au-dessous

de sa surface. Je crois seulement qu'on peut, sans se tromper, prendre le même rapport pour la consolidation que celui du refroidissement du verre au refroidissement du fer, lequel rapport est de 132 à 236 par les expériences du second Mémoire, tome V, page 70.

VII.

AYANT déterminé, par les expériences précédentes, les temps nécessaires pour la consolidation du fer en fusion, tant à sa surface qu'aux différentes profondeurs de son intérieur, j'ai cherché à reconnoître, par des observations exactes, quelle étoit la durée de l'incandescence dans cette même matière.

1. Un renard, c'est-à-dire, une loupe détachée de la gueuse par le feu de la chaufferie, et prête à être portée sous le marteau, a été mise dans un lieu dont l'obscurité étoit égale à celle de la nuit quand le ciel est couvert : cette loupe, qui étoit fort enflammée, n'a cessé de donner de la flamme qu'au bout de 24 minutes; d'abord la flamme étoit blanche, ensuite rouge et bleuâtre sur la fin : elle ne paroissoit plus alors qu'à la partie inférieure

de la loupe qui touchoit la terre, et ne se montroit que par ondulations ou par reprises, comme celles d'une chandelle qui s'éteint. Ainsi la première incandescence, accompagnée de flamme, a duré 24 minutes; ensuite la loupe, qui étoit encore bien rouge, a perdu cette couleur peu à peu, et a cessé de paroître rouge au bout de 74 minutes, non compris les 24 premières, ce qui fait en tout 98 minutes : mais il n'y avoit que les surfaces supérieure et latérales qui avoient absolument perdu leur couleur rouge ; la surface inférieure, qui touchoit à la terre, l'étoit encore aussi-bien que l'intérieur de la loupe. Je commençai alors, c'est-à-dire au bout de 98 minutes, à laisser tomber quelques grains de poudre à tirer sur la surface supérieure ; ils s'enflammèrent avec explosion. On continuoit de jeter de temps en temps de la poudre sur la loupe, et ce ne fut qu'au bout de 42 minutes de plus qu'elle cessa de faire explosion : à 43, 44 et 45 minutes, la poudre se fondoit et fusoit sans explosion, en donnant seulement une petite flamme bleue. De là je crus devoir conclure que l'incandescence à l'intérieur de la loupe n'avoit fini qu'alors,

c'est-à-dire, 42 minutes après celle de la surface, et qu'en tout elle avoit duré 140 minutes.

Cette loupe étoit de figure à peu près ovale et applatie sur deux faces parallèles ; son grand diamètre étoit de 13 pouces, et le petit de 8 pouces : elle avoit aussi, à très-peu près, 8 pouces d'épaisseur par-tout, et elle pesoit 91 livres 4 onces après avoir été refroidie.

2. Un autre renard, mais plus petit que le premier, tout aussi blanc de flamme et pétillant de feu, au lieu d'être porté sous le marteau, a été mis dans le même lieu obscur, où il n'a cessé de donner de la flamme qu'au bout de 22 minutes ; ensuite il n'a perdu sa couleur rouge qu'après 43 minutes : ce qui fait 65 minutes pour la durée des deux états d'incandescence à la surface, sur laquelle ayant ensuite jeté des grains de poudre, ils n'ont cessé de s'enflammer avec explosion qu'au bout de 40 minutes ; ce qui fait en tout 105 minutes pour la durée de l'incandescence, tant à l'extérieur qu'à l'intérieur.

Cette loupe étoit à peu près circulaire, sur 9 pouces de diamètre, et elle avoit environ 6 pouces d'épaisseur par-tout; elle s'est trou-

vée du poids de 54 livres après son refroidissement.

J'ai observé que la flamme et la couleur rouge suivent la même marche dans leur dégradation ; elles commencent par disparoître à la surface supérieure de la loupe, tandis qu'elles durent encore aux surfaces latérales, et continuent de paroître assez long-temps autour de la surface inférieure, qui, étant constamment appliquée sur la terre, se refroidit plus lentement que les autres surfaces qui sont exposées à l'air.

3. Un troisième renard, tiré du feu très-blanc, brûlant et pétillant d'étincelles et de flamme, ayant été porté dans cet état sous le marteau, n'a conservé cette incandescence enflammée que 6 minutes; les coups précipités dont il a été frappé pendant ces 6 minutes, ayant comprimé la matière, en ont en même temps réprimé la flamme, qui auroit subsisté plus long-temps sans cette opération, par laquelle on en a fait une pièce de fer de 12 pouces ½ de longueur sur 4 pouces en quarré, qui s'est trouvée peser 48 livres 4 onces après avoir été refroidie. Mais, ayant mis auparavant cette pièce encore toute rouge dans

le même lieu obscur, elle n'a cessé de paroître rouge à sa surface qu'au bout de 46 minutes, y compris les 6 premières. Ayant ensuite fait l'épreuve avec la poudre à tirer, qui n'a cessé de s'enflammer avec explosion que 26 minutes après les 46, il en résulte que l'incandescence intérieure et totale a duré 72 minutes.

En comparant ensemble ces trois expériences, on peut conclure que la durée de l'incandescence totale est comme celle de la prise de consistance proportionnelle à l'épaisseur de la matière : car la première loupe, qui avoit 8 pouces d'épaisseur, a conservé son incandescence pendant 140 minutes ; la seconde, qui avoit 6 pouces d'épaisseur, l'a conservée pendant 105 minutes ; et la troisième, qui n'avoit que 4 pouces, ne l'a conservée que pendant 72 minutes. Or 105 : 140 :: 6 : 8, et de même 72 : 140 à peu près :: 4 : 8, en sorte qu'il paroît y avoir même rapport entre les temps qu'entre les épaisseurs.

4. Pour m'assurer encore mieux de ce fait important, j'ai cru devoir répéter l'expérience sur une loupe prise, comme la précédente, au sortir de la chaufferie. On l'a

portée tout enflammée sous le marteau; la flamme a cessé au bout de 6 minutes, et, dans ce moment, on a cessé de la battre : on l'a mise tout de suite dans le même lieu obscur; le rouge n'a cessé qu'au bout de 39 minutes; ce qui donne 45 minutes pour les deux états d'incandescence à la surface : ensuite la poudre n'a cessé de s'enflammer avec explosion qu'au bout de 28 minutes; ainsi l'incandescence intérieure et totale a duré 73 minutes. Or cette pièce avoit, comme la précédente, 4 pouces juste d'épaisseur sur deux faces en quarré, et 10 pouces $\frac{1}{4}$ de longueur; elle pesoit 39 livres 4 onces après avoir été refroidie.

Cette dernière expérience s'accorde si parfaitement avec celle qui la précède et avec les deux autres, qu'on ne peut pas douter qu'en général la durée de l'incandescence ne soit à très-peu près proportionnelle à l'épaisseur de la masse, et que par conséquent ce grand degré de feu ne suive la même loi que celle de la chaleur médiocre; en sorte que, dans des globes de même matière, la chaleur ou le feu du plus haut degré, pendant tout le temps de l'incandescence, s'y conservent et

y durent précisément en raison de leur diamètre. Cette vérité, que je voulois acquérir et démontrer par le fait, semble nous indiquer que les causes cachées (*causæ latentes*) de Newton, desquelles j'ai parlé dans le premier de ces Mémoires, ne s'opposent que très-peu à la sortie du feu, puisqu'elle se fait de la même manière que si les corps étoient entièrement et parfaitement perméables, et que rien ne s'opposât à son issue. Cependant on seroit porté à croire que plus la même matière est comprimée, plus elle doit retenir de temps le feu; en sorte que la durée de l'incandescence devoit être alors en plus grande raison que celle des épaisseurs ou des diamètres. J'ai donc essayé de reconnoître cette différence par l'expérience suivante.

5. J'ai fait forger une masse cubique de fer, de 5 pouces 9 lignes de toutes faces; elle a subi trois chaudes successives, et, l'ayant laissé refroidir, son poids s'est trouvé de 48 livres 9 onces. Après l'avoir pesée, on l'a mise de nouveau au feu de l'affinerie, où elle n'a été chauffée que jusqu'au rouge couleur de feu, parce qu'alors elle commençoit à donner un peu de flamme, et qu'en la lais-

sant au feu plus long-temps, le fer auroit brûlé. De là on l'a transportée tout de suite dans le même lieu obscur, où j'ai vu qu'elle ne donnoit aucune flamme ; néanmoins elle n'a cessé de paroître rouge qu'au bout de 52 minutes, et la poudre n'a cessé de s'enflammer à sa surface avec explosion que 43 minutes après : ainsi l'incandescence totale a duré 95 minutes. On a pesé cette masse une seconde fois après son entier refroidissement; elle s'est trouvée peser 48 livres 1 once : ainsi elle avoit perdu au feu 8 onces de son poids, et elle en auroit perdu davantage si on l'eût chauffée jusqu'au blanc.

En comparant cette expérience avec les autres, on voit que l'épaisseur de la masse étant de 5 pouces $\frac{3}{4}$, l'incandescence totale a duré 95 minutes dans cette pièce de fer, comprimée autant qu'il est possible, et que dans les premières masses, qui n'avoient point été comprimées par le marteau, l'épaisseur étant de 6 pouces, l'incandescence a duré 105 minutes, et l'épaisseur étant de 8 pouces, elle a duré 140 minutes. Or 140 : 8 ou 105 : 6 :: 95 : 5 $\frac{9}{21}$, au lieu que l'expérience nous donne 5 $\frac{3}{4}$. Les causes cachées, dont la principale

est la compression de la matière, et les obstacles qui en résultent pour l'issue de la chaleur, semblent donc produire cette différence de 5 $\frac{1}{4}$ à 5 $\frac{9}{21}$; ce qui fait $\frac{27}{84}$, ou un peu plus d'un tiers sur $\frac{15}{3}$, c'est-à-dire, environ $\frac{1}{16}$ sur le tout; en sorte que le fer bien battu, bien *sué*, bien comprimé, ne perd son incandescence qu'en 17 de temps, tandis que le même fer qui n'a point été comprimé, la perd en 16 du même temps. Et ceci paroît se confirmer par les experiences 3 et 4, où les masses de fer ayant été comprimées par une seule volée de coups de marteau, n'ont perdu leur incandescence qu'au bout de 72 et 73 minutes, au lieu de 70 qu'a duré celle des loupes non comprimées; ce qui fait 2 $\frac{1}{2}$ sur 70, ou $\frac{1}{140}$ ou $\frac{1}{28}$ de différence produite par cette première compression. Ainsi l'on ne doit pas être étonné que la seconde et la troisième compressions qu'a subies la masse de fer de la cinquième expérience, qui a été battue par trois volées de coups de marteau, aient produit $\frac{1}{16}$ au lieu de $\frac{1}{28}$ de différence dans la durée de l'incandescence. On peut donc assurer en général que la plus forte compression qu'on puisse donner à la matière pénétrée de feu autant

qu'elle peut l'être, ne diminue que d'une seizième partie la durée de son incandescence, et que, dans la matière qui ne reçoit point de compression extérieure, cette durée est précisément en même raison que son épaisseur.

Maintenant, pour appliquer au globe de la Terre le résultat de ces expériences, nous considérerons qu'il n'a pu prendre sa forme élevée sous l'équateur, et abaissée sous les poles, qu'en vertu de la force centrifuge combinée avec celle de la pesanteur; que par conséquent il a dû tourner sur son axe pendant un petit temps, avant que sa surface ait pris sa consistance, et qu'ensuite la matière intérieure s'est consolidée dans les mêmes rapports de temps indiqués par nos expériences; en sorte qu'en partant de la supposition d'un jour au moins pour le petit temps nécessaire à la prise de consistance à sa surface, et en admettant, comme nos expériences l'indiquent, un temps de 3 minutes pour en consolider la matière intérieure à un pouce de profondeur, il se trouvera 36 minutes pour un pied, 216 minutes pour une toise, 342 jours pour une lieue, et 490086

jours, ou environ 1342 ans, pour qu'un globe de fonte de fer qui auroit, comme celui de la Terre, 1432 lieues $\frac{1}{2}$ de demi-diamètre, eût pris sa consistance jusqu'au centre.

La supposition que je fais ici d'un jour de rotation pour que le globe terrestre ait pu s'élever régulièrement sous l'équateur, et s'abaisser sous les poles, avant que sa surface fût consolidée, me paroît plutôt trop foible que trop forte; car il a peut-être fallu un grand nombre de révolutions de vingt-quatre heures chacune sur son axe pour que la matière fluide se soit solidement établie, et l'on voit bien que, dans ce cas, le temps nécessaire pour la prise de consistance de la matière au centre se trouvera plus grand. Pour le réduire autant qu'il est possible, nous n'avons fait aucune attention à l'effet de la force centrifuge qui s'oppose à celui de la réunion des parties, c'est-à-dire, à la prise de consistance de la matière en fusion. Nous avons supposé encore, dans la même vue de diminuer le temps, que l'atmosphère de la Terre, alors toute en feu, n'étoit néanmoins pas plus chaud que celui de mon fourneau à quelques pieds de distance où se sont faites

les expériences; et c'est en conséquence de ces deux suppositions trop gratuites que nous ne trouvons que 1342 ans pour le temps employé à la consolidation du globe jusqu'au centre. Mais il me paroît certain que cette estimation du temps est de beaucoup trop foible, par l'observation constante que j'ai faite sur la prise de consistance des gueuses à la tête et à la queue ; car il faut trois fois autant de temps et plus pour que la partie de la gueuse qui est à 18 pieds du fourneau, prenne consistance, c'est-à-dire que si la surface de la tête de la gueuse, qui est à 18 pieds du fourneau, prend consistance en 1 minute $\frac{1}{2}$, celle de la queue, qui n'est qu'à 2 pieds du fourneau, ne prend consistance qu'en 4 minutes $\frac{1}{2}$ ou 5 minutes; en sorte que la chaleur plus grande de l'air contribue prodigieusement au maintien de la fluidité : et l'on conviendra sans peine avec moi que, dans ce premier temps de liquéfaction du globe de la Terre, la chaleur de l'atmosphère de vapeurs qui l'environnoit, étoit plus grande que celle de l'air à 2 pieds de distance du feu de mon fourneau, et que par conséquent il a fallu beaucoup plus de temps pour con-

solider le globe jusqu'au centre. Or nous avons démontré, par les expériences du premier Mémoire *, qu'un globe de fer gros comme la Terre, pénétré de feu seulement jusqu'au rouge, seroit plus de 96670 ans à se refroidir, auxquels ajoutant 2 ou 3000 ans pour le temps de sa consolidation jusqu'au centre, il résulte qu'en tout il faudroit environ 100,000 ans pour refroidir au point de la température actuelle un globe de fer gros comme la Terre, sans compter la durée du premier état de liquéfaction; ce qui recule encore les limites du temps, qui semble fuir et s'étendre à mesure que nous cherchons à le saisir. Mais tout ceci sera plus amplement discuté et déterminé plus précisément dans les Mémoires suivans.

* Tome IV, page 318.

NEUVIÈME MÉMOIRE.

Expériences sur la fusion des mines de fer.

JE ne pourrai guère mettre d'autre liaison entre ces Mémoires, ni d'autre ordre entre mes différentes expériences, que celui du temps ou plutôt de la succession de mes idées. Comme je ne me trouvois pas assez instruit dans la connoissance des minéraux, que je n'étois pas satisfait de ce qu'on en dit dans les livres, que j'avois bien de la peine à entendre ceux qui traitent de la chimie, où je voyois d'ailleurs des principes précaires, toutes les expériences faites en petit et toujours expliquées dans l'esprit d'une même méthode, j'ai voulu travailler par moi-même; et consultant plutôt mes desirs que ma force, j'ai commencé par faire établir, sous mes yeux, des forges et des fourneaux en grand, que je n'ai pas cessé d'exercer continuellement depuis sept ans.

Le petit nombre d'auteurs qui ont écrit

sur les mines de fer, ne donnent, pour ainsi dire, qu'une nomenclature assez inutile, et ne parlent point des différens traitemens de chacune de ces mines. Ils comprennent dans les mines de fer l'aimant, l'émeril, l'hématite, etc. qui sont en effet des minéraux ferrugineux en partie, mais qu'on ne doit pas regarder comme de vraies mines de fer, propres à être fondues et converties en ce métal; nous ne parlerons ici que de celles dont on doit faire usage, et on peut les réduire à deux espèces principales.

La première est la mine en roche, c'est-à-dire, en masses dures, solides et compactes, qu'on ne peut tirer et séparer qu'à force de coins, de marteaux et de masses, et qu'on pourroit appeler *pierre de fer*. Ces mines ou roches de fer se trouvent en Suède, en Allemagne, dans les Alpes, dans les Pyrénées, et généralement dans la plupart des hautes montagnes de la Terre, mais en bien plus grande quantité vers le Nord que du côté du Midi. Celles de Suède sont de couleur de fer pour la plupart, et paroissent être du fer presque à demi préparé par la nature : il y en a aussi de couleur brune, rousse ou jaunâtre;

il y en a même de toutes blanches à Allevard en Dauphiné, ainsi que d'autres couleurs; ces dernières mines semblent être composées comme du spath, et on ne reconnoît qu'à leur pesanteur, plus grande que celle des autres spaths, qu'elles contiennent une grande quantité de métal. On peut aussi s'en assurer en les mettant au feu; car de quelque couleur qu'elles soient, blanches, grises, jaunes, rousses, verdâtres, bleuâtres, violettes ou rouges, toutes deviennent noires à une légère calcination. Les mines de Suède, qui, comme je l'ai dit, semblent être de la pierre de fer, sont attirées par l'aimant; il en est de même de la plupart des autres mines en roche, et généralement de toute matière ferrugineuse qui a subi l'action du feu. Les mines de fer en grains, qui ne sont point du tout magnétiques, le deviennent lorsqu'on les fait griller au feu : ainsi les mines de fer en roche et en grandes masses étant magnétiques, doivent leur origine à l'élément du feu. Celles de Suède, qui ont été les mieux observées, sont très-étendues et très-profondes; les filons sont perpendiculaires, toujours épais de plusieurs pieds,

et quelquefois de quelques toises; on les travaille comme on travailleroit de la pierre très-dure dans une carrière. On y trouve souvent de l'asbeste; ce qui prouve encore que ces mines ont été formées par le feu.

Les mines de la seconde espèce ont au contraire été formées par l'eau, tant du détriment des premières que de toutes les particules de fer que les végétaux et les animaux rendent à la Terre par la décomposition de leur substance : ces mines formées par l'eau sont le plus ordinairement en grains arrondis, plus ou moins gros, mais dont aucun n'est attirable par l'aimant avant d'avoir subi l'action du feu, ou plutôt celle de l'air par le moyen du feu ; car, ayant fait griller plusieurs de ces mines dans des vaisseaux ouverts, elles sont toutes devenues très-attirables à l'aimant, au lieu que dans les vaisseaux clos, quoique chauffées à un plus grand feu et pendant plus de temps, elles n'avoient point du tout acquis la vertu magnétique.

On pourroit ajouter à ces mines en grains formées par l'eau, une seconde espèce de mine souvent plus pure, mais bien plus

rare, qui se forme également par le moyen de l'eau : ce sont les mines de fer crystallisées. Mais comme je n'ai pas été à portée de traiter par moi-même les mines de fer en roche produites par le feu, non plus que les mines de fer crystallisées par l'eau, je ne parlerai que de la fusion des mines en grains, d'autant que ces dernières mines sont celles qu'on exploite le plus communément dans nos forges de France.

La première chose que j'ai trouvée, et qui me paroît être une découverte utile, c'est qu'avec une mine qui donnoit le plus mauvais fer de la province de Bourgogne, j'ai fait du fer aussi ductile, aussi nerveux, aussi ferme, que les fers du Berri, qui sont réputés les meilleurs de France. Voici comment j'y suis parvenu : le chemin que j'ai tenu est bien plus long ; mais personne, avant moi, n'ayant frayé la route, on ne sera pas étonné que j'aie fait du circuit.

J'ai pris le dernier jour d'un fondage, c'est-à-dire, le jour où l'on alloit faire cesser le feu d'un fourneau à fondre la mine de fer, qui duroit depuis plus de quatre mois. Ce fourneau, d'environ 20 pieds de hauteur

et de 5 pieds et demi de largeur à sa cuve, étoit bien échauffé, et n'avoit été chargé que de cette mine qui avoit la fausse réputation de ne pouvoir donner que des fontes très-blanches, très-cassantes, et par conséquent du fer à très-gros grain, sans nerf et sans ductilité. Comme j'étois dans l'idée que la trop grande violence du feu ne peut qu'aigrir le fer, j'employai ma méthode ordinaire, et que j'ai suivie constamment dans toutes mes recherches sur la nature, qui consiste à voir les extrêmes avant de considérer les milieux: je fis donc, non pas ralentir, mais enlever les soufflets; et ayant fait en même temps découvrir le toit de la halle, je substituai aux soufflets un ventilateur simple, qui n'étoit qu'un cône creux, de 24 pieds de longueur, sur 4 pieds de diamètre au gros bout, et 3 pouces seulement à sa pointe, sur laquelle on adapta une buse de fer, et qu'on plaça dans le trou de la tuyère; en même temps on continuoit à charger de charbon et de mine, comme si l'on eût voulu continuer à couler: les charges descendoient bien plus lentement, parce que le feu n'étoit plus animé par le vent des soufflets; il l'étoit

seulement par un courant d'air que le ventilateur tiroit d'en haut, et qui, étant plus frais et plus dense que celui du voisinage de la tuyère, arrivoit avec assez de vîtesse pour produire un murmure constant dans l'intérieur du fourneau. Lorsque j'eus fait charger environ deux milliers de charbon et quatre milliers de mine, je fis discontinuer pour ne pas trop embarrasser le fourneau; et le ventilateur étant toujours à la tuyère, je laissai baisser les charbons et la mine sans remplir le vide qu'ils laissoient au-dessus. Au bout de quinze ou seize heures, il se forma de petites loupes, dont on tira quelques unes par le trou de la tuyère, et quelques autres par l'ouverture de la coulée: le feu dura quatre jours de plus, avant que le charbon fût entièrement consumé; et, dans cet intervalle de temps, on tira des loupes plus grosses que les premières; et, après les quatre jours, on en trouva de plus grosses encore en vidant le fourneau.

Après avoir examiné ces loupes, qui me parurent être d'une très-bonne étoffe, et dont la plupart portoient à leur circonférence un grain fin et tout semblable à celui

de l'acier, je les fis mettre au feu de l'affinerie et porter sous le marteau : elles en soutinrent le coup sans se diviser, sans s'éparpiller en étincelles, sans donner une grande flamme, sans laisser couler beaucoup de laitier; choses qui toutes arrivent lorsqu'on forge du mauvais fer. On les forgea à la manière ordinaire: les barres qui en provenoient n'étoient pas toutes de la même qualité; les unes étoient de fer, les autres d'acier, et le plus grand nombre de fer par un bout ou par un côté, et d'acier par l'autre. J'en ai fait faire des poinçons et des ciseaux par des ouvriers qui trouvèrent cet acier aussi bon que celui d'Allemagne. Les barres qui n'étoient que de fer étoient si fermes, qu'il fut impossible de les rompre avec la masse, et qu'il fallut employer le ciseau d'acier pour les entamer profondément des deux côtés, avant de pouvoir les rompre; ce fer étoit tout nerf, et ne pouvoit se séparer qu'en se déchirant par le plus grand effort. En le comparant au fer que donne cette même mine fondue en gueuses à la manière ordinaire, on ne pouvoit se persuader qu'il provenoit de la même mine, dont on n'avoit

jamais tiré que du fer à gros grain, sans nerf et très-cassant.

La quantité de mine que j'avois employée dans cette expérience, auroit dû produire au moins 1200 livres de fonte, c'est-à-dire, environ 800 livres de fer, si elle eût été fondue par la méthode ordinaire, et je n'avois obtenu que 280 livres tant d'acier que de fer, de toutes les loupes que j'avois réunies; et en supposant un déchet de moitié du mauvais fer au bon, et de trois quarts du mauvais fer à l'acier, je voyois que ce produit ne pouvoit équivaloir qu'à 500 livres de mauvais fer, et que par conséquent il y avoit eu plus du quart de mes quatre milliers de mine qui s'étoit consumé en pure perte, et en même temps près du tiers du charbon brûlé sans produit.

Ces expériences étant donc excessivement chères, et voulant néanmoins les suivre, je pris le parti de faire construire deux fourneaux plus petits; tous deux cependant de 14 pieds de hauteur, mais dont la capacité intérieure du second étoit d'un tiers plus petite que celle du premier. Il falloit, pour charger et remplir en entier mon grand

fourneau de fusion, 135 corbeilles de charbon de 40 livres chacune, c'est-à-dire, 5400 livres de charbon, au lieu que, dans mes petits fourneaux, il ne falloit que 900 livres de charbon pour remplir le premier, et 600 livres pour remplir le second; ce qui diminuoit considérablement les trop grands frais de ces expériences. Je fis adosser ces fourneaux l'un à l'autre, afin qu'ils pussent profiter de leur chaleur mutuelle : ils étoient séparés par un mur de 3 pieds, et environnés d'un autre mur de 4 pieds d'épaisseur; le tout bâti en bon moellon et de la même pierre calcaire dont on se sert dans le pays pour faire les étalages des grands fourneaux. La forme de la cavité de ces petits fourneaux étoit pyramidale sur une base quarrée, s'élevant d'abord perpendiculairement à 3 pieds de hauteur, et ensuite s'inclinant en dedans sur le reste de leur élévation qui étoit de 11 pieds; de sorte que l'ouverture supérieure se trouvoit réduite à 14 pouces au plus grand fourneau, et 11 pouces au plus petit. Je ne laissai dans le bas qu'une seule ouverture à chacun de mes fourneaux; elle étoit surbaissée en forme de voûte ou de lunette, dont

le sommet ne s'élevoit qu'à 2 pieds $\frac{1}{2}$ dans la partie intérieure, et à 4 pieds en dehors; je faisois remplir cette ouverture par un petit mur de briques, dans lequel on laissoit un trou de quelques pouces en bas pour écouler le laitier, et un autre trou à 1 pied $\frac{1}{2}$ de hauteur pour pomper l'air. Je ne donne point ici la figure de ces fourneaux, parce qu'ils n'ont pas assez bien réussi pour que je prétende les donner pour modèles, et que d'ailleurs j'y ai fait et j'y fais encore des changemens essentiels, à mesure que l'expérience m'apprend quelque chose de nouveau. D'ailleurs ce que je viens de dire suffit pour en donner une idée, et aussi pour l'intelligence de ce qui suit.

Ces fourneaux étoient placés de manière que leur face antérieure dans laquelle étoient les ouvertures en lunette, se trouvoit parallèle au courant d'eau qui fait mouvoir les roues des soufflets de mon grand fourneau et de mes affineries, en sorte que le grand entonnoir ou ventilateur dont j'ai parlé pouvoit être posé de manière qu'il recevoit sans cesse un air frais par le mouvement des roues; il portoit cet air au fourneau auquel

il aboutissoit par sa pointe, qui étoit une buse ou tuyau de fer de forme conique, et d'un pouce et demi de diamètre à son extrémité. Je fis faire en même temps deux tuyaux d'aspiration, l'un de 10 pieds de longueur sur 14 pouces de largeur pour le plus grand de mes petits fourneaux, et l'autre de 7 pieds de longueur et de 11 pouces de côté pour le plus petit. Je fis ces tuyaux d'aspiration quarrés, parce que les ouvertures du dessus des fourneaux étoient quarrées, et que c'étoit sur ces ouvertures qu'il falloit les poser; et quoique ces tuyaux fussent faits d'une tôle assez légère, sur un châssis de fer mince, ils ne laissoient pas d'être pesans, et même embarrassans par leur volume, sur-tout quand ils étoient fort échauffés : quatre hommes avoient assez de peine pour les déplacer et les replacer; ce qui cependant étoit nécessaire toutes les fois qu'il falloit charger les fourneaux.

J'y ai fait dix-sept expériences, dont chacune duroit ordinairement deux ou trois jours et deux ou trois nuits. Je n'en donnerai pas le détail, non seulement parce qu'il seroit fort ennuyeux, mais même assez inu-

tile, attendu que je n'ai pu parvenir à une méthode fixe, tant pour conduire le feu que pour le forcer à donner toujours le même produit. Je dois donc me borner aux simples résultats de ces expériences qui m'ont démontré plusieurs vérités que je crois très-utiles.

La première, c'est qu'on peut faire de l'acier de la meilleure qualité sans employer du fer comme on le fait communément, mais seulement en faisant fondre la mine à un feu long et gradué. De mes dix-sept expériences il y en a eu six où j'ai eu de l'acier bon et médiocre, sept où je n'ai eu que du fer tantôt très-bon et tantôt mauvais, et quatre où j'ai eu une petite quantité de fonte et du fer environné d'excellent acier. On ne manquera pas de me dire : Donnez-nous donc au moins le détail de celles qui vous ont produit du bon acier. Ma réponse est aussi simple que vraie : c'est qu'en suivant les mêmes procédés aussi exactement qu'il m'étoit possible, en chargeant de la même façon, mettant la même quantité de mine et de charbon, ôtant et mettant le ventilateur et les tuyaux d'aspiration pendant un temps égal,

je n'en ai pas moins eu des résultats tout différens. La seconde expérience me donna de l'acier par les mêmes procédés que la première, qui ne m'avoit produit que du fer d'une qualité assez médiocre; la troisième, par les mêmes procédés, m'a donné de très-bon fer; et quand après cela j'ai voulu varier la suite des procédés et changer quelque chose à mes fourneaux, le produit en a peut-être moins varié par ces grands changemens qu'il n'avoit fait par le seul caprice du feu, dont les effets et la conduite sont si difficiles à suivre, qu'on ne peut les saisir ni même les deviner qu'après une infinité d'épreuves et de tentatives qui ne sont pas toujours heureuses. Je dois donc me borner à dire ce que j'ai fait, sans anticiper sur ce que des artistes plus habiles pourront faire; car il est certain qu'on parviendra à une méthode sûre de tirer de l'acier de toute mine de fer sans la faire couler en gueuses et sans convertir la fonte en fer.

C'est ici la seconde vérité, aussi utile que la première. J'ai employé trois différentes sortes de mines dans ces expériences; j'ai cherché, avant de les employer, le moyen

d'en bien connoître la nature. Ces trois espèces de mines étoient, à la vérité, toutes les trois en grains plus ou moins fins; je n'étois pas à portée d'en avoir d'autres, c'est-à-dire, des mines en roche, en assez grande quantité pour faire mes expériences: mais je suis bien convaincu, après avoir fait les épreuves de mes trois différentes mines en grains, et qui toutes trois m'ont donné de l'acier sans fusion précédente, que les mines en roche, et toutes les mines de fer en général, pourroient donner également de l'acier en les traitant comme j'ai traité les mines en grains. Dès lors il faut donc bannir de nos idées le préjugé si anciennement, si universellement reçu, que *la qualité du fer dépend de celle de la mine*. Rien n'est plus mal fondé que cette opinion; c'est au contraire uniquement de la conduite du feu et de la manipulation de la mine que dépend la bonne ou la mauvaise qualité de la fonte du fer et de l'acier. Il faut encore bannir un autre préjugé, c'est qu'*on ne peut avoir de l'acier qu'en le tirant du fer;* tandis qu'il est très-possible au contraire d'en tirer immédiatement de toutes sortes de mines. On rejettera

donc en conséquence les idées de M. Yonge, et de quelques autres chimistes qui ont imaginé qu'il y avoit des mines qui avoient la qualité particulière de pouvoir donner de l'acier, à l'exclusion de toutes les autres.

Une troisième vérité que j'ai recueillie de mes expériences, c'est que toutes nos mines de fer en grains, telles que celles de Bourgogne, de Champagne, de Franche-Comté, de Lorraine, du Nivernois, de l'Angoumois, etc. c'est-à-dire, presque toutes les mines dont on fait nos fers en France, ne contiennent point de soufre comme les mines en roche de Suède ou d'Allemagne, et que par conséquent elles n'ont pas besoin d'être grillées, ni traitées de la même manière. Le préjugé du soufre contenu en grande quantité dans les mines de fer, nous est venu des métallurgistes du Nord, qui, ne connoissant que leurs mines en roche qu'on tire de la terre à de grandes profondeurs, comme nous tirons des pierres d'une carrière, ont imaginé que toutes les mines de fer étoient de la même nature, et contenoient comme elles une grande quantité de soufre; et, comme les expériences sur les mines de fer sont très-difficiles à faire, nos

chimistes s'en sont rapportés aux métallurgistes du Nord, et ont écrit, comme eux, qu'il y avoit beaucoup de soufre dans nos mines de fer, tandis que toutes les mines en grains que je viens de citer, n'en contiennent point du tout, ou si peu, qu'on n'en sent pas l'odeur, de quelque façon qu'on les brûle. Les mines en roche ou en pierre dont j'ai fait venir des échantillons de Suède et d'Allemagne, répandent au contraire une forte odeur de soufre lorsqu'on les fait griller, et en contiennent réellement une très-grande quantité, dont il faut les dépouiller, avant de les mettre au fourneau pour les fondre.

Et de là suit une quatrième vérité tout aussi intéressante que les autres : c'est que nos mines en grains valent mieux que ces mines en roche tant vantées, et que si nous ne faisons pas du fer aussi bon ou meilleur que celui de Suède, c'est purement notre faute, et point du tout celle de nos mines, qui toutes nous donneroient des fers de la première qualité si nous les traitions avec le même soin que prennent les étrangers pour arriver à ce but ; il nous est même plus aisé de l'atteindre, nos mines ne demandant pas,

à beaucoup près, autant de travaux que les leurs. Voyez dans Swedenborg le détail de ces travaux : la seule extraction de la plupart de ces mines en roche qu'il faut aller arracher du sein de la Terre, à 3 ou 400 pieds de profondeur, casser à coups de marteaux, de masses et de leviers, enlever ensuite par des machines jusqu'à la hauteur de terre, doit coûter beaucoup plus que le tirage de nos mines en grains, qui se fait, pour ainsi dire, à fleur de terrain, et sans autre instrument que la pioche et la pelle. Ce premier avantage n'est pas encore le plus grand ; car il faut reprendre ces quartiers, ces morceaux de pierres de fer, les porter sous les maillets d'un bocard pour les concasser, les broyer et les réduire au même état de division où nos mines en grains se trouvent naturellement ; et comme cette mine concassée contient une grande quantité de soufre, elle ne produiroit que de très-mauvais fer si on ne prenoit pas la précaution de lui enlever la plus grande partie de ce soufre surabondant, avant de la jeter au fourneau. On la répand à cet effet sur des bûchers d'une vaste étendue, où elle se grille pendant quelques

semaines. Cette consommation très-considérable de bois, jointe à la difficulté de l'extraction de la mine, rendroit la chose impraticable en France, à cause de la cherté des bois. Nos mines heureusement n'ont pas besoin d'être grillées, et il suffit de les laver pour les séparer de la terre avec laquelle elles sont mêlées ; la plupart se trouvent à quelques pieds de profondeur : l'exploitation de nos mines se fait donc à beaucoup moins de frais, et cependant nous ne profitons pas de tous ces avantages, ou du moins nous n'en avons pas profité jusqu'ici, puisque les étrangers nous apportent leurs fers qui leur coûtent tant de peines, et que nous les achetons de préférence aux nôtres, sur la réputation qu'ils ont d'être de meilleure qualité.

Ceci tient à une cinquième vérité, qui est plus morale que physique : c'est qu'il est plus aisé, plus sûr et plus profitable de faire, sur-tout en ce genre, de la mauvaise marchandise que de la bonne. Il est bien plus commode de suivre la routine qu'on trouve établie dans les forges, que de chercher à en perfectionner l'art. Pourquoi vouloir faire du bon fer ? disent la plupart des maîtres de

forges ; on ne le vendra pas une pistole au-dessus du fer commun, et il nous reviendra peut-être à trois ou quatre de plus, sans compter les risques et les frais des expériences et des essais, qui ne réussissent pas tous à beaucoup près. Malheureusement cela n'est que trop vrai ; nous ne profiterons jamais de l'avantage naturel de nos mines, ni même de notre intelligence, qui vaut bien celle des étrangers, tant que le gouvernement ne donnera pas à cet objet plus d'attention, tant qu'on ne favorisera pas le petit nombre de manufactures où l'on fait de bon fer, et qu'on permettra l'entrée des fers étrangers. Il me semble que l'on peut démontrer avec la dernière évidence le tort que cela fait aux arts et à l'État ; mais je m'écarterois trop de mon sujet si j'entrois ici dans cette discussion.

Tout ce que je puis assurer comme une sixième vérité, c'est qu'avec toutes sortes de mines on peut toujours obtenir du fer de même qualité. J'ai fait brûler et fondre successivement dans mon plus grand fourneau, qui a 23 pieds de hauteur, sept espèces de mines différentes, tirées à deux, trois et quatre lieues de distance les unes des autres,

dans des terrains tous différens, les unes en grains plus gros que des pois, les autres en grains gros comme des chevrotines, plomb à lièvre, et les autres plus menues que le plus petit plomb à tirer; et de ces sept différentes espèces de mines dont j'ai fait fondre plusieurs centaines de milliers, j'ai toujours eu le même fer. Ce fer est bien connu, non seulement dans la province de Bourgogne, où sont situées mes forges, mais même à Paris, où s'en fait le principal débit, et il est regardé comme de très-bonne qualité. On seroit donc fondé à croire que j'ai toujours employé la même mine, qui, toujours traitée de la même façon, m'auroit constamment donné le même produit; tandis que, dans le vrai, j'ai usé de toutes les mines que j'ai pu découvrir, et que ce n'est qu'en vertu des précautions et des soins que j'ai pris de les traiter différemment que je suis parvenu à en tirer un résultat semblable et un produit de même qualité. Voici les observations et les expériences que j'ai faites à ce sujet; elles seront utiles et même nécessaires à tous ceux qui voudront connoître la qualité des mines qu'ils emploient.

Nos mines de fer en grains ne se trouvent jamais pures dans le sein de la Terre; toutes sont mélangées d'une certaine quantité de terre qui peut se délayer dans l'eau, et d'un sable plus ou moins fin, qui, dans de certaines mines, est de nature calcaire, dans d'autres de nature vitrifiable, et quelquefois mêlé de l'une et de l'autre; je n'ai pas vu qu'il y eût aucun autre mélange dans les sept espèces de mines que j'ai traitées et fondues avec un égal succès. Pour reconnoître la quantité de terre qui doit se délayer dans l'eau, et que l'on peut espérer de séparer de la mine au lavage, il faut en peser une petite quantité dans l'état même où elle sort de la Terre, la faire ensuite sécher, et mettre en compte le poids de l'eau qui se sera dissipée par le desséchement. On mettra cette terre séchée dans un vase que l'on remplira d'eau, et on la remuera; dès que l'eau sera jaune ou bourbeuse, on la versera dans un autre vase plat pour en faire évaporer l'eau par le moyen du feu; après l'évaporation, on mettra à part le résidu terreux. On réitérera cette même manipulation jusqu'à ce que la mine ne colore plus l'eau qu'on verse dessus;

ce qui n'arrive jamais qu'après un grand nombre de lotions. Alors on réunit ensemble tous ces résidus terreux, et on les pèse pour reconnoître leur quantité relative à celle de la mine.

Cette première partie du mélange de la mine étant connue et son poids constaté, il restera les grains de mines et les sables que l'eau n'a pu délayer : si ces sables sont calcaires, il faudra les faire dissoudre à l'eau-forte, et on en reconnoîtra la quantité en les faisant précipiter après les avoir dissous; on les pesera, et dès lors on saura au juste combien la mine contient de terre, de sable calcaire et de fer en grains. Par exemple, la mine dont je me suis servi pour la première expérience de ce Mémoire, contenoit par once 1 gros $\frac{1}{2}$ de terre délayée par l'eau, 1 gros 55 grains de sable dissous par l'eau-forte, 3 gros 66 grains de mine de fer, et il y a eu 59 grains de perdus dans les lotions et dissolutions. C'est M. Daubenton, de l'académie des sciences, qui a bien voulu faire cette expérience à ma prière, et qui l'a faite avec toute l'exactitude qu'il apporte à tous les sujets qu'il traite.

Après cette épreuve, il faut examiner attentivement la mine dont on vient de séparer la terre et le sable calcaire, et tâcher de reconnoître, à la seule inspection, s'il ne se trouve pas encore, parmi les grains de fer, des particules d'autres matières que l'eau-forte n'auroit pu dissoudre, et qui par conséquent ne seroient pas calcaires. Dans celle dont je viens de parler, il n'y en avoit point du tout, et dès lors j'étois assuré que sur une quantité de 576 livres de cette mine, il y avoit 282 parties de mine de fer, 127 de matière calcaire, et le reste de terre qui peut se délayer à l'eau. Cette connoissance une fois acquise, il sera aisé d'en tirer les procédés qu'il faut suivre pour faire fondre la mine avec avantage et avec certitude d'en obtenir du bon fer, comme nous le dirons dans la suite.

Dans les six autres espèces de mines que j'ai employées, il s'en est trouvé quatre dont le sable n'étoit point dissoluble à l'eau-forte, et dont par conséquent la nature n'étoit pas calcaire, mais vitrifiable; et les deux autres, qui étoient à plus gros grains de fer que les cinq premières, contenoient des graviers

calcaires en assez petite quantité, et de petits cailloux arrondis, qui étoient de la nature de la calcédoine, et qui ressembloient par la forme aux chrysalides des fourmis : les ouvriers employés à l'extraction et au lavage de mes mines, les appeloient *œufs de fourmis.* Chacune de ces mines exige une suite de procédés différens pour les fondre avec avantage et pour en tirer du fer de même qualité.

Ces procédés, quoiqu'assez simples, ne laissent pas d'exiger une grande attention; comme il s'agit de travailler sur des milliers de quintaux de mine, on est forcé de chercher tous les moyens et de prendre toutes les voies qui peuvent aller à l'économie : j'ai acquis sur cela de l'expérience à mes dépens, et je ne ferai pas mention des méthodes qui, quoique plus précises et meilleures que celles dont je vais parler, seroient trop dispendieuses pour pouvoir être mises en pratique. Comme je n'ai pas eu d'autre but dans mon travail que celui de l'utilité publique, j'ai tâché de réduire ces procédés à quelque chose d'assez simple pour pouvoir être entendu et exécuté par tous les maîtres de forges qui

voudront faire du bon fer, mais néanmoins en les prévenant d'avance que ce bon fer leur coûtera plus que le fer commun qu'ils ont coutume de fabriquer, par la même raison que le pain blanc coûte plus que le pain bis; car il ne s'agit de même que de cribler, tirer et séparer le bon grain de toutes les matières hétérogènes dont il se trouve mélangé.

Je parlerai ailleurs de la recherche et de la découverte des mines : mais je suppose ici les mines toutes trouvées et tirées; je suppose aussi que, par des épreuves semblables à celles que je viens d'indiquer, on connoisse la nature des sables qui y sont mélangés. La première opération qu'il faut faire, c'est de les transporter aux lavoirs, qui doivent être d'une construction différente selon les différentes mines : celles qui sont en grains plus gros que les sables qu'elles contiennent, doivent être lavées dans des lavoirs foncés de fer et percés de petits trous comme ceux qu'a proposés M. Robert, et qui sont très-bien imaginés; car ils servent en même temps de lavoirs et de cribles : l'eau emmène avec elle toute la terre qu'elle peut délayer, et les

sablons plus menus que les grains de la mine passent en même temps par les petits trous dont le fond du lavoir est percé; et dans le cas où les sablons sont aussi gros, mais moins durs que le grain de la mine, le râble de fer les écrase, et ils tombent avec l'eau au-dessous du lavoir; la mine reste nette et assez pure pour qu'on la puisse fondre avec économie. Mais ces mines dont les grains sont plus gros et plus durs que ceux des sables ou petits cailloux qui y sont mélangés, sont assez rares. Des sept espèces de mines que j'ai eu occasion de traiter, il ne s'en est trouvé qu'une qui fût dans le cas d'être lavée à ce lavoir, que j'ai fait exécuter et qui a bien réussi; cette mine est celle qui ne contenoit que du sable calcaire, qui communément est moins dur que le grain de la mine. J'ai néanmoins observé que les râbles de fer, en frottant contre le fond du lavoir, qui est aussi de fer, ne laissoient pas d'écraser une assez grande quantité de grains de mine, qui dès lors passoient avec le sable et tomboient en pure perte sous le lavoir, et je crois cette perte inévitable dans les lavoirs foncés de fer. D'ailleurs la quantité de castine que

M. Robert étoit obligé de mêler à ses mines, et qu'il dit être d'un tiers de la mine, prouve qu'il restoit encore, après le lavage, une portion considérable de sablon vitrifiable, ou de terre vitrescible, dans ses mines ainsi lavées; car il n'auroit eu besoin que d'un sixième ou même d'un huitième de castine, si les mines eussent été plus épurées, c'est-à-dire, plus dépouillées de la terre grasse ou du sable vitrifiable qu'elles contenoient.

Au reste, il n'étoit pas possible de se servir de ce même lavoir pour les autres six espèces de mines que j'ai eues à traiter; de ces six il y en avoit quatre qui se sont trouvées mêlées d'un sablon vitrescible aussi dur et même plus dur et en même temps plus gros ou aussi gros que les grains de la mine. Pour épurer ces quatre espèces de mines, je me suis servi de lavoirs ordinaires et foncés de bois plein, avec un courant d'eau plus rapide qu'à l'ordinaire : on les passoit neuf fois de suite à l'eau; et à mesure que le courant vif de l'eau emportoit la terre et le sablon le plus léger et le plus petit, on faisoit passer la mine dans des cribles de fil-de-fer assez serrés pour retenir tous les petits cailloux plus gros

que les grains de la mine. En lavant ainsi neuf fois et criblant trois fois, on parvenoit à ne laisser dans ces mines qu'environ un cinquième ou un sixième de ces petits cailloux ou sablons vitrescibles, et c'étoient ceux qui, étant de la même grosseur que les grains de la mine, étoient aussi de la même pesanteur, en sorte qu'on ne pouvoit les séparer ni par le lavoir ni par le crible. Après cette première préparation, qui est tout ce qu'on peut faire par le moyen du lavoir et des cribles à l'eau, la mine étoit assez nette pour pouvoir être mise au fourneau; et comme elle étoit encore mélangée d'un cinquième ou d'un sixième de matières vitrescibles, on pouvoit la fondre avec un quart de castine ou matière calcaire, et en obtenir de très-bon fer en ménageant les charges, c'est-à-dire, en mettant moins de mine que l'on n'en met ordinairement: mais comme alors on ne fond pas à profit, parce qu'on use une grande quantité de charbon, il faut encore tâcher d'épurer sa mine, avant de la jeter au fourneau. On ne pourra guère en venir à bout qu'en la faisant vanner et cribler à l'air, comme l'on vanne et crible le blé. J'ai séparé

par ces moyens encore plus d'une moitié des matières hétérogènes qui restoient dans mes mines; et, quoique cette dernière opération soit longue et même assez difficile à exécuter en grand, j'ai reconnu par l'épargne du charbon, qu'elle étoit profitable : il en coûtoit vingt sous pour vanner et cribler quinze cents pesant de mine; mais on épargnoit au fourneau trente-cinq sous de charbon pour la fondre. Je crois donc que quand cette pratique sera connue, on ne manquera pas de l'adopter. La seule difficulté qu'on y trouvera, c'est de faire sécher assez les mines pour les faire passer au crible et les vanner avantageusement. Il y a très-peu de matières qui retiennent l'humidité aussi long-temps que les mines de fer en grains * : une seule pluie les rend humides pour plus d'un mois. Il faut donc des hangars couverts pour les déposer; il faut les étendre par petites couches

* Pour reconnoître la quantité d'humidité qui réside dans la mine de fer, j'ai fait sécher, et, pour ainsi dire, griller dans un four très-chaud, trois cents livres de celle qui avoit été la mieux lavée, et qui s'étoit déja séchée à l'air; et ayant pesé cette mine au sortir du four, elle ne pesoit plus que deux cent

de trois ou quatre pouces d'épaisseur, les remuer, les exposer au soleil; en un mot, les sécher autant qu'il est possible : sans cela, le van ni le crible ne peuvent faire leur effet. Ce n'est qu'en été qu'on peut y travailler; et quand il s'agit de faire passer au crible quinze ou dix-huit cents milliers de mine que l'on brûle au fourneau dans cinq ou six mois, on sent bien que le temps doit toujours manquer, et il manque en effet; car je n'ai pu par chaque été faire traiter ainsi qu'environ cinq ou six cents milliers : cependant, en augmentant l'espace des hangars, et en doublant les machines et les hommes, on en viendroit à bout, et l'économie qu'on trouveroit par la moindre consommation de charbon, dédommageroit et au-delà de tous ces frais.

On doit traiter de même les mines qui sont mélangées de graviers calcaires et de petits cailloux ou de sable vitrescible; en

cinquante-deux livres : ainsi la quantité de la matière humide ou volatile que la chaleur lui enlève, est à très-peu près d'un sixième de son poids total, et je suis persuadé que si on la grilloit à un feu plus violent, elle perdroit encore plus.

séparer le plus que l'on pourra de cette seconde matière, à laquelle la première sert de fondant, et que, par cette raison, il n'est pas nécessaire d'ôter, à moins qu'elle ne fût en trop grande quantité : j'en ai travaillé deux de cette espèce; elles sont plus fusibles que les autres, parce qu'elles contiennent une bonne quantité de castine, et qu'il ne leur en faut ajouter que peu ou même point du tout, dans le cas où il n'y auroit que peu ou point de matières vitrescibles.

Lorsque les mines de fer ne contiennent point de matières vitrescibles, et ne sont mélangées que de matières calcaires, il faut tâcher de reconnoître la proportion du fer et de la matière calcaire, en séparant les grains de mine un à un sur une petite quantité, ou en dissolvant à l'eau-forte les parties calcaires, comme je l'ai dit ci-devant. Lorsqu'on se sera assuré de cette proportion, on saura tout ce qui est nécessaire pour fondre ces mines avec succès. Par exemple, la mine qui a servi à la première expérience, et qui contenoit 1 gros 55 grains de sable calcaire, sur 3 gros 66 grains de fer en grains, et dont il s'étoit perdu 59 grains dans les lotions et

la dissolution, étoit par conséquent mélangée d'environ un tiers de castine ou de matière calcaire, sur deux tiers de fer en grains. Cette mine porte donc naturellement sa castine; et on ne peut que gâter la fonte, si on ajoute encore de la matière calcaire pour la fondre : il faut au contraire y mêler des matières vitrescibles, et choisir celles qui se fondent le plus aisément. En mettant un quinzième ou même un seizième de terre vitrescible, qu'on appelle *aubue*, j'ai fondu cette mine avec un grand succès, et elle m'a donné d'excellent fer, tandis qu'en la fondant avec une addition de castine, comme c'étoit l'usage dans le pays avant moi, elle ne produisoit qu'une mauvaise fonte qui cassoit par son propre poids sur les rouleaux en la conduisant à l'affinerie. Ainsi, toutes les fois qu'une mine de fer se trouve naturellement surchargée d'une grande quantité de matières calcaires, il faut, au lieu de castine, employer de l'aubue pour la fondre avec avantage. On doit préférer cette terre aubue à toutes les autres matières vitrescibles, parce qu'elle fond plus aisément que le caillou, le sable crystallin et les autres matières du

genre vitrifiable, qui pourroient faire le même effet, mais qui exigeroient plus de charbon pour se fondre. D'ailleurs cette terre aubue se trouve presque par-tout, et est la terre la plus commune dans nos campagnes. En se fondant, elle saisit les sablons calcaires, les pénètre, les ramollit, et les fait couler avec elle plus promptement que ne pourroit faire le petit caillou ou le sable vitrescible, auxquels il faut beaucoup plus de feu pour les fondre.

On est dans l'erreur lorsqu'on croit que la mine de fer ne peut se fondre sans castine ; on peut la fondre non seulement sans castine, mais même sans aubue et sans aucun autre fondant, lorsqu'elle est nette et pure : mais il est vrai qu'alors il se brûle une quantité assez considérable de mine qui tombe en mauvais laitier, et qui diminue le produit de la fonte. Il s'agit donc, pour fondre le plus avantageusement qu'il est possible, de trouver d'abord quel est le fondant qui convient à la mine, et ensuite dans quelle proportion il faut lui donner ce fondant pour qu'elle se convertisse entièrement en fonte de fer, et qu'elle ne brûle pas avant d'entrer

en fusion. Si la mine est mêlée d'un tiers ou d'un quart de matières vitrescibles, et qu'il ne s'y trouve aucune matière calcaire, alors un demi-tiers ou un demi-quart de matières calcaires suffira pour la fondre ; et si au contraire elle se trouve naturellement mélangée d'un tiers ou d'un quart de sables ou de graviers calcaires, un quinzième ou un dix-huitième d'aubue suffira pour la faire couler et la préserver de l'action trop subite du feu, qui ne manqueroit pas de la brûler en partie. On pèche presque par-tout par l'excès de castine qu'on met dans les fourneaux ; il y a même des maîtres de cet art assez peu instruits pour mettre de la castine et de l'aubue tout ensemble ou séparément, suivant qu'ils imaginent que leur mine est trop froide ou trop chaude, tandis que, dans le réel, toutes les mines de fer, du moins toutes les mines en grains, sont également fusibles, et ne diffèrent les unes des autres que par les matières dont elles sont mélangées, et point du tout par leurs qualités intrinsèques, qui sont absolument les mêmes, et qui m'ont démontré que le fer, comme tout autre métal, est un dans la nature.

On reconnoîtra par les laitiers si la proportion de la castine ou de l'aubue que l'on jette au fourneau, pèche par excès ou par defaut : lorsque les laitiers sont trop légers, spongieux et blancs, presque semblables à la pierre ponce, c'est une preuve certaine qu'il y a trop de matière calcaire; en diminuant la quantité de cette matière, on verra le laitier prendre plus de solidité, et former un verre ordinairement de couleur verdâtre, qui file, s'étend et coule lentement au sortir du fourneau. Si au contraire le laitier est trop visqueux, s'il ne coule que très-difficilement, s'il faut l'arracher du sommet de la dame, on peut être sûr qu'il n'y a pas assez de castine, ou peut-être pas assez de charbon proportionnellement à la mine; la consistance et même la couleur du laitier sont les indices les plus sûrs du bon ou du mauvais état du fourneau, et de la bonne ou mauvaise proportion des matières qu'on y jette : il faut que le laitier coule seul et forme un ruisseau lent sur la pente qui s'étend du sommet de la dame au terrain; il faut que sa couleur ne soit pas d'un rouge trop vif ou trop foncé, mais d'un rouge pâle

et blanchâtre ; et lorsqu'il est refroidi, on doit trouver un verre solide, transparent et verdatre, aussi pesant et même plus que le verre ordinaire. Rien ne prouve mieux le mauvais travail du fourneau, ou la disproportion des mélanges, que les laitiers trop légers, trop pesans, trop obscurs ; et ceux dans lesquels on remarque plusieurs petits trous ronds, gros comme les grains de mine, ne sont pas des laitiers proprement dits, mais de la mine brûlée qui ne s'est pas fondue.

Il y a encore plusieurs attentions nécessaires, et quelques précautions à prendre, pour fondre les mines de fer avec la plus grande économie. Je suis parvenu, après un grand nombre d'essais réitérés, à ne consommer que 1 livre 7 onces $\frac{1}{2}$, ou tout au plus 1 livre 8 onces de charbon pour 1 livre de fonte ; car, avec 2880 livres de charbon, lorsque mon fourneau est pleinement animé, j'obtiens constamment des gueuses de 1875, 1900 et 1950 livres, et je crois que c'est le plus haut point d'économie auquel on puisse arriver : car M. Robert, qui, de tous les maîtres de cet art, est peut-être celui qui, par le moyen de son lavoir, a le plus épuré

ses mines, consommoit néanmoins 1 livre 10 onces de charbon pour chaque livre de fonte, et je doute que la qualité de ses fontes fût aussi parfaite que celle des miennes; mais cela dépend, comme je viens de le dire, d'un grand nombre d'observations et de précautions dont je vais indiquer les principales.

1°. La cheminée du fourneau, depuis la cuve jusqu'au gueulard, doit être circulaire, et non pas à huit pans, comme étoit le fourneau de M. Robert, ou quarrée comme le sont les cheminées de la plupart des fourneaux en France. Il est bien aisé de sentir que, dans un quarré, la chaleur se perd dans les angles sans réagir sur la mine, et que par conséquent on brûle plus de charbon pour en fondre la même quantité.

2°. L'ouverture du gueulard ne doit être que de la moitié du diamètre de la largeur de la cuve du fourneau. J'ai fait des fondages avec de très-grands et de très-petits gueulards; par exemple, de 3 pieds $\frac{1}{2}$ de diamètre, la cuve n'ayant que 5 pieds de diamètre, ce qui est à peu près la proportion des fourneaux de Suède; et j'ai vu que chaque livre de fonte

consommoit près de 2 livres de charbon. Ensuite ayant rétréci la cheminée du fourneau, et laissant toujours à la cuve un diamètre de 5 pieds, j'ai réduit le gueulard à 2 pieds de diamètre ; et, dans ce fondage, j'ai consommé 1 livre 13 onces de charbon pour chaque livre de fonte. La proportion qui m'a le mieux réussi, et à laquelle je me suis tenu, est celle de 2 pieds ½ de diamètre au gueulard, sur 5 pieds à la cuve, la cheminée formant un cône droit, portant sur des gueuses circulaires depuis la cuve au gueulard, le tout construit avec des briques capables de résister au plus grand feu. Je donnerai ailleurs la composition de ces briques, et les détails de la construction du fourneau, qui est toute différente de ce qui s'est pratiqué jusqu'ici, sur-tout pour la partie qu'on appelle *l'ouvrage dans le fourneau.*

3°. La manière de charger le fourneau ne laisse pas d'influer beaucoup plus qu'on ne croit sur le produit de la fusion. Au lieu de charger, comme c'est l'usage, toujours du côté de la rustine, et de laisser couler la mine en pente, de manière que ce côté de rustine est constamment plus chargé que les autres,

il faut la placer au milieu du gueulard, l'élever en cône obtus, et ne jamais interrompre le cours de la flamme, qui doit toujours envelopper le tas de mine tout autour, et donner constamment le même degré de feu. Par exemple, je fais charger communément six paniers de charbon de 40 livres chacun, sur huit mesures de mine de 55 livres chacune, et je fais couler à douze charges ; j'obtiens communément 1925 livres de fonte de la meilleure qualité. On commence, comme par-tout ailleurs, à mettre le charbon ; j'observe seulement de ne me servir au fourneau que de charbon de bois de chêne, et je laisse pour les affineries le charbon des bois plus doux. On jette d'abord cinq paniers de ce gros charbon de bois de chêne, et le dernier panier qu'on impose sur les cinq autres, doit être d'un charbon plus menu, que l'on entasse et brise avec un râble, pour qu'il remplisse exactement les vides que laissent entre eux les gros charbons. Cette précaution est nécessaire pour que la mine, dont les grains sont très-menus, ne perce pas trop vîte, et n'arrive pas trop tôt au bas du fourneau. C'est aussi par la même raison qu'avant d'imposer la

mine sur ce dernier charbon, qui doit être non pas à fleur du gueulard, mais à deux pouces au-dessous, il faut, suivant la nature de la mine, répandre une portion de la castine ou de l'aubue, nécessaire à la fusion, sur la surface du charbon : cette couche de matière soutient la mine et l'empèche de percer. Ensuite on impose au milieu de l'ouverture une mesure de mine qui doit être mouillée, non pas assez pour tenir à la main, mais assez pour que les grains aient entre eux quelque adhérence et fassent quelques petites pelottes. Sur cette première mesure de mine on en met une seconde, et on relève le tout en cône, de manière que la flamme l'enveloppe en entier; et s'il y a quelques points dans cette circonférence où la flamme ne perce pas, on enfonce un petit ringard pour lui donner jour, afin d'en entretenir l'égalité tout autour de la mine. Quelques minutes après, lorsque le cône de mine est affaissé de moitié ou des deux tiers, on impose de la même façon une troisième et une quatrième mesure qu'on relève de même, et ainsi de suite jusqu'à la huitième mesure. On emploie quinze ou vingt minutes à charger suc-

cessivement la mine; cette manière est meilleure et bien plus profitable que la façon ordinaire qui est en usage, par laquelle on se presse de jeter, et toujours du même côté, la mine tout ensemble en moins de 3 ou 4 minutes.

4°. La conduite du vent contribue beaucoup à l'augmentation du produit de la mine et de l'épargne du charbon. Il faut, dans le commencement du fondage, donner le moins de vent qu'il est possible, c'est-à-dire, à peu près six coups de soufflet par minute, et augmenter peu à peu le mouvement pendant les quinze premiers jours, au bout desquels on peut aller jusqu'à onze et même jusqu'à douze coups de soufflet par minute; mais il faut encore que la grandeur des soufflets soit proportionnée à la capacité du fourneau, et que l'orifice de la tuyère soit placé d'un tiers plus près de la rustine que de la tympe, afin que le vent ne se porte pas trop du côté de l'ouverture qui donne passage au laitier. Les buses des soufflets doivent être posées à 6 ou 7 pouces en dedans de la tuyère, et le milieu du creuset doit se trouver à l'à-plomb du centre du gueulard; de cette ma-

nière le vent circule à peu près également dans toute la cavité du fourneau, et la mine descend, pour ainsi dire, à-plomb, et ne s'attache que très-rarement et en petite quantité aux parois du fourneau : dès lors il s'en brûle très-peu, et l'on évite les embarras qui se forment souvent par cette mine attachée, et les bouillonnemens qui arrivent dans le creuset lorsqu'elle vient à se détacher et y tomber en masse. Mais je renvoie les détails de la construction et de la conduite des fourneaux à un autre Mémoire, parce que ce sujet exige une très-longue discussion. Je pense que j'en ai dit assez pour que les maîtres de forges puissent m'entendre, et changer ou perfectionner leurs méthodes d'après la mienne. J'ajouterai seulement que par les moyens que je viens d'indiquer, et en ne pressant pas le feu, en ne cherchant point à accélérer les coulées, en n'augmentant de mine qu'avec précaution, en se tenant toujours au-dessous de la quantité qu'on pourroit charger, on sera sûr d'avoir de très-bonne fonte grise, dont on tirera d'excellent fer, et qui sera toujours de même qualité, de quelque mine qu'il provienne. Je puis l'assurer de toutes les mines

en grains, puisque j'ai sur cela l'expérience la plus constante et les faits les plus réitérés. Mes fers, depuis cinq ans, n'ont jamais varié pour la qualité, et néanmoins j'ai employé sept espèces de mines différentes : mais je n'ai garde d'assurer de même que les mines de fer en roche donneroient, comme celles en grains, du fer de même qualité; car celles qui contiennent du cuivre ne peuvent guère produire que du fer aigre et cassant, de quelque manière qu'on voulût les traiter, parce qu'il est comme impossible de les purger de ce métal, dont le moindre mélange gâte beaucoup la qualité du fer. Celles qui contiennent des pyrites et beaucoup de soufre, demanderoient à être traitées dans de petits fourneaux presque ouverts, ou à la manière des forges des Pyrénées : mais comme toutes les mines en grains, du moins toutes celles que j'ai eu occasion d'examiner (et j'en ai vu beaucoup, m'en étant procuré d'un grand nombre d'endroits), ne contiennent ni cuivre ni soufre, on sera certain d'avoir du très-bon fer, et de la même qualité, en suivant les procédés que je viens d'indiquer; et comme ces mines en grains sont, pour ainsi dire, les seules que

l'on exploite en France, et qu'à l'exception des provinces du Dauphiné, de Bretagne, du Roussillon, du pays de Foix, etc. où l'on se sert de mine en roche, presque toutes nos autres provinces n'ont que des mines en grains, les procédés que je viens de donner pour le traitement de ces mines en grains, seront plus généralement utiles au royaume que les manières particulières de traiter les mines en roche, dont d'ailleurs on peut s'instruire dans Swedenborg et dans quelques autres auteurs.

Ces procédés, que tous les gens qui connoissent les forges peuvent entendre aisément, se réduisent à séparer d'abord, autant qu'il sera possible, toutes les matières étrangères qui se trouvent mêlées avec la mine; si l'on pouvoit en avoir le grain pur et sans aucun mélange, tous les fers, dans tous pays, seroient exactement de la même qualité : je me suis assuré, par un grand nombre d'essais, que toutes les mines en grains, ou plutôt que tous les grains des différentes mines, sont à très-peu près de la même substance. Le fer est un dans la nature, comme l'or et tous les autres métaux; et, dans

les mines en grains, les différences qu'on y trouve ne viennent pas de la matière qui compose le grain, mais de celles qui se trouvent mêlées avec les grains, et que l'on n'en sépare pas avant de les faire fondre. La seule différence que j'ai observée entre les grains des différentes mines que j'ai fait trier un à un pour faire mes essais, c'est que les plus petits sont ceux qui ont la plus grande pesanteur spécifique, et par conséquent ceux qui, sous le même volume, contiennent le plus de fer : il y a communément une petite cavité au centre de chaque grain; plus ils sont gros, plus ce vide est grand : ils n'augmentent pas comme le volume seulement, mais en bien plus grande proportion; en sorte que les plus gros grains sont à peu près comme les géodes ou pierres d'aigle, qui sont elles-mêmes de gros grains de mine de fer, dont la cavité intérieure est très-grande. Ainsi les mines en grains très-menus sont ordinairement les plus riches : j'en ai tiré jusqu'à 49 et 50 par 100 de fer en gueuse, et je suis persuadé que si je les avois épurées en entier, j'aurois obtenu plus de 60 par 100; car il y restoit environ un cinquième de sable

vitrescible aussi gros et à peu près aussi pesant que le grain, et que je n'avois pu séparer; ce cinquième déduit sur 100, reste 80, dont ayant tiré 50, on auroit par conséquent obtenu 62 $\frac{1}{2}$. On demandera peut-être comment je pouvois m'assurer qu'il ne restoit qu'un cinquième de matières hétérogènes dans la mine, et comment il faut faire en général pour reconnoître cette quantité : cela n'est point du tout difficile; il suffit de peser exactement une demi-livre de la mine, la livrer ensuite à une petite personne attentive, once par once, et lui en faire trier tous les grains un à un; ils sont toujours très-reconnoissables par leur luisant métallique; et lorsqu'on les a tous triés, on pèse les grains d'un côté et les sablons de l'autre pour reconnoître la proportion de leurs quantités.

Les métallurgistes qui ont parlé des mines de fer en roche, disent qu'il y en a quelques unes de si riches, qu'elles donnent 70 et même 75 et davantage de fer en gueuse par 100 : cela semble prouver que ces mines en roche sont en effet plus abondantes en fer que les mines en grains. Cependant j'ai quelque peine à le croire; et ayant consulté les

Mémoires de feu M. Jars, qui a fait en Suède des observations exactes sur les mines, j'ai vu que, selon lui, les plus riches ne donnent que 50 pour 100 de fonte en gueuse. J'ai fait venir des échantillons de plusieurs mines de Suède, de celles des Pyrénées, et de celles d'Allevard en Dauphiné, que M. le comte de Baral a bien voulu me procurer, en m'envoyant la note ci-jointe *; et les ayant comparées à la balance hydrostatique avec nos mines en grains, elles se sont, à la vérité, trouvées plus pesantes : mais cette épreuve n'est pas concluante, à cause de la cavité

* « La terre d'Allevard est composée du bourg « d'Allevard et de cinq paroisses, dans lesquelles il « peut y avoir près de 6000 personnes toutes occu- « pées, soit à l'exploitation des mines, soit à con- « vertir les bois en charbon, et aux travaux des four- « neaux, forges et martinets. La hauteur des mon- « tagnes est pleine de rameaux de mines de fer ; et « elles y sont si abondantes, qu'elles fournissent des « mines à toute la province de Dauphiné. Les qua- « lités en sont si fines et si pures, qu'elles ont tou- « jours été absolument nécessaires pour la fabrique « royale de canons de Saint-Gervais, d'où l'on vient « les chercher à grands frais ; ces mines sont toutes « répandues dans le cœur des roches, où elles forment

qui se trouve dans chaque grain de nos mines, dont on ne peut pas estimer au juste, ni même à peu près, le rapport avec le volume total du grain. Et l'épreuve chimique que M. Sage a faite, à ma prière, d'un morceau de mine de fer cubique, semblable à celui de Sibérie, que mes tireurs de mine ont trouvé dans le territoire de Montbard, semble confirmer mon opinion. M. Sage n'en ayant tiré que 50 pour 100 *; cette mine est toute différente de nos mines en grains, le fer y étant contenu en masses de figure cubique, au lieu que tous nos grains sont toujours

« des rameaux, et dans lesquelles elles se renou-
« vellent par une végétation continuelle.

« Le fourneau est situé dans le centre des bois et « des mines : c'est l'eau qui souffle le feu, et les cou- « rans d'eau sont immenses. Il n'y a par conséquent « aucun soufflet : mais l'eau tombe dans des arbres « creusés dans de grands tonneaux, y attire une « quantité d'air immense, qui va par un conduit souf- « fler le fourneau ; l'eau, plus pesante, s'enfuit par « d'autres conduits. »

* Cette mine est brune, fait feu avec le briquet, et est minéralisée par l'acide marin : on remarque dans sa fracture de petits points brillans de pyrites martiales ; dans les fentes, on trouve des cubes de

plus ou moins arrondis, et que, quand ils forment une masse, ils ne sont, pour ainsi dire, qu'agglutinés par un ciment terreux facile à diviser; au lieu que dans cette mine cubique, ainsi que dans toutes les autres vraies mines en roche, le fer est intimement uni avec les autres matières qui composent leur masse. J'aurois bien desiré faire l'épreuve en grand de cette mine cubique; mais on

fer de deux lignes de diamètre, dont les surfaces sont striées; les stries sont opposées suivant les faces. Ce caractère se remarque dans les mines de fer de Sibérie: cette mine est absolument semblable à celles de ce pays par la couleur, la configuration des crystaux et les minéralisations; elle en diffère en ce qu'elle ne contient point d'or.

Par la distillation au fourneau de réverbère, j'ai retiré de 600 grains de cette mine vingt gouttes d'eau insipide et très-claire: j'avois enduit d'huile de tartre par défaillance, le récipient que j'avois adapté à la cornue; la distillation finie, je l'ai trouvé obscurci par des crystaux cubiques de sel fébrifuge de Sylvius.

Le résidu de la distillation étoit d'un rouge pourpre et avoit diminué de 10 livres par quintal.

J'ai retiré de cette mine 52 livres de fer par quintal, il étoit très-ductile.

n'en a trouvé que quelques petits morceaux dispersés çà et là dans les fouilles des autres mines, et il m'a été impossible d'en rassembler assez pour en faire l'essai dans mes fourneaux.

Les essais en grand des différentes mines de fer sont plus difficiles et demandent plus d'attention qu'on ne l'imagineroit. Lorsqu'on veut fondre une nouvelle mine, et en comparer au juste le produit avec celui des mines dont on usoit précédemment, il faut prendre le temps où le fourneau est en plein exercice, et s'il consomme dix mesures de mine par charge, ne lui en donner que sept ou huit de la nouvelle mine : il m'est arrivé d'avoir fort embarrassé mon fourneau faute d'avoir pris cette précaution, parce qu'une mine dont on n'a point encore usé, peut exiger plus de charbon qu'une autre, ou plus ou moins de vent, plus ou moins de castine; et, pour ne rien risquer, il faut commencer par une moindre quantité, et charger ainsi jusqu'à la première coulée. Le produit de cette première coulée est une fonte mélangée environ par moitié de la mine ancienne et de la nouvelle; et ce n'est qu'à la seconde,

et quelquefois même à la troisième coulée que l'on a sans mélange la fonte produite par la nouvelle mine. Si la fusion s'en fait avec succès, c'est-à-dire, sans embarrasser le fourneau, et si les charges descendent promptement, on augmentera la quantité de mine par demi-mesure, non pas de charge en charge, mais seulement de coulée en coulée, jusqu'à ce qu'on parvienne au point d'en mettre la plus grande quantité qu'on puisse employer sans gâter sa fonte. C'est ici le point essentiel, et auquel tous les gens de cet art manquent par raison d'intérêt : comme ils ne cherchent qu'à faire la plus grande quantité de fonte sans trop se soucier de la qualité, qu'ils payent même leur fondeur au millier, et qu'ils en sont d'autant plus contens que cet ouvrier coule plus de fonte toutes les vingt-quatre heures, ils ont coutume de faire charger leur fourneau d'autant de mine qu'il peut en supporter sans s'obstruer ; et par ce moyen, au lieu de 400 milliers de bonne fonte qu'ils feroient en quatre mois, ils en font dans ce même espace de temps 5 ou 600 milliers. Cette fonte, toujours très-cassante et très-blanche, ne peut

produire que du fer très-médiocre ou mauvais; mais comme le débit en est plus assuré que celui du bon fer qu'on ne peut pas donner au même prix, et qu'il y a beaucoup plus à gagner, cette mauvaise pratique s'est introduite dans presque toutes les forges, et rien n'est plus rare que les fourneaux où l'on fait de bonnes fontes. On verra dans le Mémoire suivant, où je rapporte les expériences que j'ai faites au sujet des canons de la marine, combien les bonnes fontes sont rares, puisque celle même dont on se sert pour les canons, n'est pas à beaucoup près d'une aussi bonne qualité qu'on pourroit et qu'on devroit la faire.

Il en coûte à peu près un quart de plus pour faire de la bonne fonte que pour en faire de la mauvaise : ce quart, que dans la plupart de nos provinces on peut évaluer à 10 francs par millier, produit une différence de 15 francs sur chaque millier de fer; et ce bénéfice, qu'on ne fait qu'en trompant le public, c'est-à-dire, en lui donnant de la mauvaise marchandise, au lieu de lui en fournir de la bonne, se trouve encore augmenté de près du double par la facilité avec

laquelle ces mauvaises fontes coulent à l'affinerie; elles demandent beaucoup moins de charbon et encore moins de travail pour être converties en fer, de sorte qu'entre la fabrication du bon fer et du mauvais fer, il se trouve nécessairement et tout au moins une différence de 25 francs: et néanmoins dans le commerce, tel qu'il est aujourd'hui et depuis plusieurs années, on ne peut espérer de vendre le bon fer que 10 francs tout au plus au-dessus du mauvais; il n'y a donc que les gens qui veulent bien, pour l'honneur de leur manufacture, perdre 15 francs par millier de fer, c'est-à-dire, environ 2000 écus par an, qui fassent de bon fer. Perdre, c'est-à-dire, gagner moins; car avec de l'intelligence, et en se donnant beaucoup de peine, on peut encore trouver quelque bénéfice en faisant du bon fer : mais ce bénéfice est si médiocre, en comparaison du gain qu'on fait sur le fer commun, qu'on doit être étonné qu'il y ait encore quelques manufactures qui donnent du bon fer. En attendant qu'on réforme cet abus, suivons toujours notre objet; si l'on n'écoute pas ma voix aujourd'hui, quelque jour on y obéira en consultant

mes écrits, et l'on sera fâché d'avoir attendu si long-temps à faire un bien qu'on pourroit faire dès demain en proscrivant l'entrée des fers étrangers dans le royaume, ou en diminuant les droits de la marque des fers.

Si l'on veut donc avoir, je ne dis pas de la fonte parfaite et telle qu'il la faudroit pour les canons de la marine, mais seulement de la fonte assez bonne pour faire du fer liant, moitié nerf et moitié grain, du fer, en un mot, aussi bon et meilleur que les fers étrangers, on y parviendra très-aisément par les procédés que je viens d'indiquer. On a vu dans le quatrième Mémoire, où j'ai traité de la ténacité du fer, combien il y a de différence pour la force et pour la durée entre le bon et le mauvais fer; mais je me borne dans celui-ci à ce qui a rapport à la fusion des mines et à leur produit en fonte. Pour m'assurer de leur qualité et reconnoître en même temps si elle ne varie pas, mes gardes-fourneaux ne manquent jamais de faire un petit enfoncement horizontal d'environ trois pouces de profondeur à l'extrémité antérieure du moule de la gueuse; on casse le petit morceau lorsqu'on la sort du moule, et on

l'enveloppe d'un morceau de papier portant le même numéro que celui de la gueuse. J'ai de chacun de mes fondages deux ou trois cents de ces morceaux numérotés, par lesquels je connois non seulement le grain et la couleur de mes fontes, mais aussi la différence de leur pesanteur spécifique, et par-là je suis en état de prononcer d'avance sur la qualité du fer que chaque gueuse produira; car quoique la mine soit la même et qu'on suive les mêmes procédés au fourneau, le changement de la température de l'air, le haussement ou le baissement des eaux, le jeu des soufflets plus ou moins soutenu, les retardemens causés par les glaces ou par quelque accident aux roues, aux harnois ou à la tuyère, et au creuset du fourneau, rendent la fonte assez différente d'elle-même, pour qu'on soit forcé d'en faire un choix si l'on veut avoir du fer toujours de même qualité. En général, il faut, pour qu'il soit de cette bonne qualité, que la couleur de la fonte soit d'un gris un peu brun, que le grain en soit presque aussi fin que celui de l'acier commun, que le poids spécifique soit d'environ 504 ou 505 livres par pied cube, et

qu'en même temps elle soit d'une si grande résistance, qu'on ne puisse casser les gueuses avec la masse.

Tout le monde sait que quand on commence un fondage, on ne met d'abord qu'une petite quantité de mine, un sixième, un cinquième, et tout au plus un quart de la quantité qu'on mettra dans la suite, et qu'on augmente peu à peu cette première quantité pendant les premiers jours, parce qu'il en faut au moins quinze pour que le fond du fourneau soit échauffé. On donne aussi assez peu de vent dans ces commencemens, pour ne pas détruire le creuset et les étalages du fourneau en leur faisant subir une chaleur trop vive et trop subite. Il ne faut pas compter sur la qualité des fontes que l'on tire pendant ces premiers quinze ou vingt jours; comme le fourneau n'est pas encore réglé, le produit en varie suivant les différentes circonstances : mais lorsque le fourneau a acquis le degré de chaleur suffisant, il faut bien examiner la fonte, et s'en tenir à la quantité de mine qui donne la meilleure; une mesure sur dix suffit souvent pour en changer la qualité. Ainsi l'on doit toujours

se tenir au-dessous de ce que l'on pourroit fondre avec la même quantité de charbon, qui ne doit jamais varier si l'on conduit bien son fourneau. Mais je réserve les détails de cette conduite du fourneau, et tout ce qui regarde sa forme et sa construction, pour l'article où je traiterai du fer en particulier, dans l'histoire des minéraux, et je me bornerai ici aux choses les plus générales et les plus essentielles de la fusion des mines.

Le fer étant, comme je l'ai dit, toujours de même nature dans toutes les mines en grains, on sera donc sûr, en les nettoyant et en les traitant comme je viens de le dire, d'avoir toujours de la fonte d'une bonne et même qualité ; on le reconnoîtra non seulement à la couleur, à la finesse du grain, à la pesanteur spécifique, mais encore à la ténacité de la matière : la mauvaise fonte est très-cassante; et si l'on veut en faire des plaques minces et des côtés de cheminée, le seul coup de l'air les fait fendre au moment que ces pièces commencent à se refroidir, au lieu que la bonne fonte ne casse jamais, quelque mince qu'elle soit. On peut même reconnoître au son la bonne ou la mauvaise qua-

lité de la fonte : celle qui sonne le mieux est toujours la plus mauvaise ; et lorsqu'on veut en faire des cloches, il faut, pour qu'elles résistent à la percussion du battant, leur donner plus d'épaisseur qu'aux cloches de bronze, et choisir de préférence une mauvaise fonte, car la bonne sonneroit mal.

Au reste, la fonte de fer n'est point encore un métal ; ce n'est qu'une matière mêlée de fer et de verre, qui est bonne ou mauvaise, suivant la quantité dominante de l'un ou de l'autre. Dans toutes les fontes noires, brunes et grises, dont le grain est fin et serré, il y a beaucoup plus de fer que de verre ou d'autre matière hétérogène. Dans toutes les fontes blanches, où l'on voit plutôt des lames et des écailles que des grains, le verre est peut-être plus abondant que le fer ; c'est par cette raison qu'elles sont plus légères et très-cassantes : le fer qui en provient conserve les mêmes qualités. On peut, à la vérité, corriger un peu cette mauvaise qualité de la fonte par la manière de la traiter à l'affinerie ; mais l'art du marteleur est comme celui du fondeur, un pauvre petit métier, dont il n'y a que les maîtres de forges ignorans qui soient

dupes. Jamais la mauvaise fonte ne peut produire d'aussi bon fer que la bonne; jamais le marteleur ne peut réparer pleinement ce que le fondeur a gâté.

Cette manière de fondre la mine de fer et de la faire couler en gueuses, c'est-à-dire, en gros lingots de fonte, quoique la plus générale, n'est peut-être pas la meilleure ni la moins dispendieuse : on a vu par le résultat des expériences que j'ai citées dans ce Mémoire, qu'on peut faire d'excellent fer, et même de très-bon acier, sans les faire passer par l'état de la fonte. Dans nos provinces voisines des Pyrénées, en Espagne, en Italie, en Stirie et dans quelques autres endroits, on tire immédiatement le fer de la mine sans le faire couler en fonte. On fond ou plutôt on ramollit la mine sans fondant, c'est-à-dire, sans castine, dans de petits fourneaux dont je parlerai dans la suite, et on en tire des loupes ou des masses de fer déja pur, qui n'a point passé par l'état de la fonte, qui s'est formé par une demi-fusion, par une espèce de coagulation de toutes les parties ferrugineuses de la mine. Ce fer fait par coagulation est certainement le meilleur de tous :

on pourroit l'appeler *fer à 24 karats;* car, au sortir du fourneau, il est déja presque aussi pur que celui de la fonte qu'on a purifiée par deux chaudes au feu de l'affinerie. Je crois donc cette pratique excellente; je suis même persuadé que c'est la seule manière de tirer immédiatement de l'acier de toutes les mines, comme je l'ai fait dans mes fourneaux de 14 pieds de hauteur. Mais n'ayant fait exécuter que l'été dernier 1772 les petits fourneaux des Pyrénées, d'après un Mémoire envoyé à l'académie des sciences, j'y ai trouvé des difficultés qui m'ont arrêté, et me forcent à renvoyer à un autre Mémoire tout ce qui a rapport à cette manière de fondre les mines de fer.

DIXIÈME MÉMOIRE.

Observations et expériences faites dans la vue d'améliorer les canons de la marine.

LES canons de la marine sont de fonte de fer, en France comme en Angleterre, en Hollande et par-tout ailleurs. Deux motifs ont pu donner également naissance à cet usage. Le premier est celui de l'économie : un canon de fer coulé coûte beaucoup moins qu'un canon de fer battu, et encore beaucoup moins qu'un canon de bronze; et cela seul a peut-être suffi pour les faire préférer, d'autant que le second motif vient à l'appui du premier. On prétend, et je suis très-porté à le croire, que les canons de bronze, dont quelques uns de nos vaisseaux de parade sont armés, rendent dans l'instant de l'explosion un son si violent, qu'il en résulte dans l'oreille de tous les habitans du vaisseau un tintement assourdissant qui leur feroit perdre en peu de temps le sens de l'ouïe. On assure

d'autre côté que les canons de fer battu, sur lesquels on pourroit, par l'épargne de la matière, regagner une partie des frais de la fabrication, ne doivent point être employés sur les vaisseaux, par cette raison même de leur légéreté qui paroîtroit devoir les faire préférer; l'explosion les fait sauter dans les sabords, où l'on ne peut, dit-on, les retenir invinciblement, ni même assez pour les diriger à coup sûr. Si cet inconvénient n'est pas réel, ou si l'on pouvoit y parer, nul doute que les canons de fer forgé ne dussent être préférés à ceux de fer coulé; ils auroient moitié plus de légéreté et plus du double de résistance. Le maréchal de Vauban en avoit fait fabriquer de très-beaux, dont il restoit encore, ces années dernières, quelques tronçons à la manufacture de Charleville *. Le

* Une personne très-versée dans la connoissance de l'art des forges m'a donné la note suivante:

« Il me paroît que l'on peut faire des canons de « fer battu, qui seroient beaucoup plus sûrs et plus « légers que les canons de fer coulé, et voici les pro- « portions sur lesquelles il faudroit en tenter les « expériences.

« Les canons de fer battu, de quatre livres de

travail n'en seroit pas plus difficile que celui des ancres; et une manufacture aussi bien

« balles, auront 7 pouces ½ d'épaisseur à leur plus « grand diamètre ;

« Ceux de huit, 10 pouces;

« Ceux de douze, 1 pied;

« Ceux de vingt-quatre livres, 14 pouces;

« Ceux de trente-six livres, 16 pouces ½.

« Ces proportions sont plutôt trop fortes que trop « foibles : peut-être pourra-t-on les réduire à 6 « pouces ½ pour les canons de quatre; ceux de huit « livres, à 8 pouces ½; ceux de douze livres, à 9 « pouces ½; ceux de vingt-quatre, à 12 pouces; et « ceux de trente-six, à 14 pouces.

« Les longueurs pour les canons de quatre seront « de 5 pieds ½; ceux de huit, de 7 pieds de longueur; « ceux de douze livres, 7 pieds 9 pouces de lon- « gueur; ceux de vingt-quatre, 8 pieds 9 pouces; « ceux de trente-six, 9 pieds 2 pouces de longueur.

« L'on pourroit même diminuer ces proportions « de longueur assez considérablement sans que le « service en souffrît, c'est-à-dire, faire les canons de « quatre de 5 pieds de longueur seulement; ceux « de huit livres, de 6 pieds 8 pouces de longueur; « ceux de douze livres, à 7 pieds de longueur; ceux « de vingt-quatre, à 7 pieds 10 pouces; et ceux de « trente-six, à 8 pieds, et peut-être même encore « au-dessous.

« Or il ne paroît pas bien difficile, 1°. de faire

montée pour cet objet que l'est celle* de M. de la Chaussade pour les ancres, pourroit être d'une très-grande utilité.

« des canons de quatre livres qui n'auroient que 5 « pieds de longueur sur 6 pouces ½ d'épaisseur dans « leur plus grand diamètre; il suffiroit pour cela de « souder ensemble quatre barres de 3 pouces forts en « quarré, et d'en former un cylindre massif de 6 « pouces ½ de diamètre sur 5 pieds de longueur; « et comme cela ne seroit pas praticable dans les « chaufferies ordinaires, ou du moins que cela de- « viendroit très-difficile, il faudroit établir des « fourneaux de réverbère, où l'on pourroit chauffer « ces barres dans toute leur longueur pour les souder « ensuite ensemble, sans être obligé de les remettre « plusieurs fois au feu. Ce cylindre une fois formé, « il sera facile de le forer et tourner; car le fer « battu obéit bien plus aisément au foret que le fer « coulé.

« Pour les canons de huit livres qui ont 6 pieds 8 « pouces de longueur sur 8 pouces ½ d'épaisseur, il « faudroit souder ensemble neuf barres de 3 pouces « foibles en quarré chacune, en les faisant toutes « chauffer ensemble au même fourneau de réver- « bère, pour en faire un cylindre plein de 8 pouces ½ « de diamètre.

« Pour les canons de douze livres de balle qui « doivent avoir 10 pouces ½ d'épaisseur, on pourra

* A Guérigny, près de Nevers.

Quoi qu'il en soit, comme ce n'est pas l'état actuel des choses, nos observations ne porteront que sur les canons de fer coulé. On s'est beaucoup plaint, dans ces derniers temps, de leur peu de résistance : malgré la rigueur des épreuves, quelques uns ont crevé sur nos vaisseaux ; accident terrible, et qui n'arrive jamais sans grand dommage et perte de plusieurs hommes. Le ministère, voulant remédier à ce mal, ou plutôt le prévenir pour la

« les faire avec neuf barres de 3 pouces ½ quarrées, « que l'on soudera toutes ensemble par les mêmes « moyens ;

« Et pour les canons de vingt-quatre, avec seize « barres de 3 pouces en quarré.

« Comme l'exécution de cette espèce d'ouvrage « devient beaucoup plus difficile pour les gros ca- « nons que pour les petits, il sera juste et nécessaire « de les payer à proportion plus cher.

« Le prix du fer battu est ordinairement de deux « tiers plus haut que celui du fer coulé. Si l'on paye « 20 francs le quintal les canons de fer coulé, il « faudra donc payer ceux-ci 60 livres le quintal ; « mais comme ils seront beaucoup plus minces que « ceux de fer coulé, je crois qu'il seroit possible de « les faire fabriquer à 40 livres le quintal, et peut- « être au-dessous.

suite, informé que je faisois à mes forges des expériences sur la qualité de la fonte, me demanda mes conseils en 1768, et m'invita à travailler sur ce sujet important. Je m'y livrai avec zèle, et, de concert avec M. le vicomte de Morogues, homme très-éclairé, je donnai, dans ce temps et dans les deux années suivantes, quelques observations au ministre, avec les expériences faites et celles qui restoient à faire pour perfectionner les

« Mais quand même ils coûteroient 40 livres, il « y auroit encore beaucoup à gagner : 1°. pour la « sûreté du service, car ces canons ne creveroient pas; « ou s'ils venoient à crever, ils n'éclateroient jamais, « et ne feroient que se fendre, ce qui ne causeroit « aucun malheur.

« 2°. Ils résisteroient beaucoup plus à la rouille, « et dureroient pendant des siècles; ce qui est un « avantage très-considérable.

« 3°. Comme on les foreroit aisément, la direc- « tion de l'ame en seroit parfaite.

« 4°. Comme la matière en est homogène par-tout, « il n'y auroit jamais ni cavités ni chambres.

« 5°. Enfin, comme ils seroient beaucoup plus lé- « gers, ils chargeroient beaucoup moins, tant sur « mer que sur terre, et seroient plus aisés à manœu- « vrer ».

canons. J'en ignore aujourd'hui le résultat et le succès ; le ministre de la marine ayant changé, je n'ai plus entendu parler ni d'expériences ni de canons. Mais cela ne doit pas m'empêcher de donner, sans qu'on me le demande, les choses utiles que j'ai pu trouver en m'occupant pendant deux à trois ans de ce travail; et c'est ce qui fera le sujet de ce Mémoire, qui tient de si près à celui où j'ai traité de la fusion des mines de fer, qu'on peut l'en regarder comme une suite.

Les canons se fondent en situation perpendiculaire, dans des moules de plusieurs pieds de profondeur, la culasse au fond et la bouche en haut : comme il faut plusieurs milliers de matière en fusion pour faire un gros canon plein et chargé de la masse qui doit le comprimer à sa partie supérieure, on étoit dans le préjugé qu'il falloit deux et même trois fourneaux pour fondre du gros canon. Comme les plus fortes gueuses que l'on coule dans les plus grands fourneaux, ne sont que de 2500 ou tout au plus 3000 livres, et que la matière en fusion ne séjourne jamais que douze ou quinze heures dans le creuset du fourneau, on

imaginoit que le double ou le triple de cette quantité de matière en fusion, qu'on seroit obligé de laisser pendant trente-six ou quarante heures dans le creuset avant de la couler, non seulement pouvoit détruire le creuset, mais même le fourneau, par son bouillonnement et son explosion ; au moyen de quoi on avoit pris le parti qui paroissoit le plus prudent, et on couloit les gros canons, en tirant en même temps ou successivement la fonte de deux ou trois fourneaux, placés de manière que les trois ruisseaux de fonte pouvoient arriver en même temps dans le moule.

Il ne faut pas beaucoup de réflexion pour sentir que cette pratique est mauvaise : il est impossible que la fonte de chacun de ces fourneaux soit au même degré de chaleur, de pureté, de fluidité; par conséquent le canon se trouve composé de deux ou trois matières différentes, en sorte que plusieurs de ses parties, et souvent un côté tout entier, se trouvent nécessairement d'une matière moins bonne et plus foible que le reste; ce qui est le plus grand de tous les inconvéniens en fait de résistance, puisque l'effort de la poudre

agissant également de tous côtés, ne manque jamais de se faire jour par le plus foible. Je voulus donc essayer et voir en effet s'il y avoit quelque danger à tenir pendant plus de temps qu'on ne le fait ordinairement, une plus grande quantité de matière en fusion : j'attendis pour cela que le creuset de mon fourneau, qui avoit 18 pouces de largeur sur 4 pieds de longueur et 18 pouces de hauteur, fût encore élargi par l'action du feu, comme cela arrive toujours vers la fin du fondage; j'y laissai amasser de la fonte pendant trente-six heures; il n'y eut ni explosion ni autre bouillonnement que ceux qui arrivent quelquefois quand il tombe des matières crues dans le creuset: je fis couler après les trente-six heures, et l'on eut trois gueuses, pesant ensemble 4600 livres, d'une très-bonne fonte.

Par une seconde expérience, j'ai gardé la fonte pendant quarante-huit heures sans aucun inconvénient; ce long séjour ne fait que la purifier davantage, et par conséquent en diminuer le volume en augmentant la masse: comme la fonte contient une grande quantité de parties hétérogènes, dont les unes se brûlent et les autres se convertissent en

verre, l'un des plus grands moyens de la dépurer est de la laisser séjourner au fourneau.

M'étant donc bien assuré que le préjugé de la nécessité de deux ou trois fourneaux étoit très-mal fondé, je proposai de réduire à un seul les fourneaux de Ruelle en Angoumois *,

* Voici l'extrait de cette proposition faite au ministre.

Comme les canons de gros calibre, tels que ceux de trente-six et de vingt-quatre, supposent un grand volume de fer en fusion, on se sert ordinairement de trois ou tout au moins de deux fourneaux pour les couler. La mine fondue dans chacun de ces fourneaux arrive dans le moule par autant de ruisseaux particuliers. Or cette pratique me paroît avoir les plus grands inconvéniens ; car il est certain que chacun de ces fourneaux donne une fonte de différente espèce, en sorte que leur mélange ne peut se faire d'une manière intime, ni même en approcher. Pour le voir clairement, ne supposons que deux fourneaux, et que la fonte de l'un arrive à droite, et la fonte de l'autre arrive à gauche dans le moule du canon : il est certain que l'une de ces deux fontes étant ou plus pesante, ou plus légère, ou plus chaude, ou plus froide, ou, etc. que l'autre, elles ne se mêleront pas, et que par conséquent l'un des côtés du canon sera plus dur que l'autre ; que dès lors il résistera moins

où l'on fond nos gros canons : ce conseil fut suivi et exécuté par ordre du ministre; on fondit sans inconvénient et avec tout succès, à un seul fourneau, des canons de vingt-quatre; et je ne sais si l'on n'a pas fondu depuis des canons de trente-six, car j'ai tout lieu de présumer qu'on réussiroit également. Ce premier point une fois obtenu, je cherchai s'il n'y avoit pas encore d'autres causes qui pouvoient contribuer à la fragilité de nos canons, et j'en trouvai en effet qui y contribuent plus encore que l'inégalité de l'étoffe dont on les composoit en les coulant à deux ou trois fourneaux.

d'un côté que de l'autre, et qu'ayant le défaut d'être composé de deux matières différentes, le ressort de ces parties, ainsi que leur cohérence, ne sera pas égal, et que par conséquent ils résisteront moins que ceux qui seroient faits d'une matière homogène. Il n'est pas moins certain que si l'on veut forer ces canons, le foret, trouvant plus de résistance d'un côté que de l'autre, se détournera de la perpendiculaire du côté le plus tendre, et que la direction de l'intérieur du canon prendra de l'obliquité, etc. Il me paroît donc qu'il faudroit tâcher de fondre les canons de fer coulé avec un seul fourneau, et je crois la chose très-possible.

La première de ces causes est le mauvais usage qui s'est établi depuis plus de vingt ans, de faire tourner la surface extérieure des canons; ce qui les rend plus agréables à la vue. Il en est cependant du canon comme du soldat, il vaut mieux qu'il soit robuste qu'élégant; et ces canons tournés, polis et guillochés, ne devoient point en imposer aux yeux des braves officiers de notre marine; car il me semble qu'on peut démontrer qu'ils sont non seulement beaucoup plus foibles, mais aussi d'une bien moindre durée. Pour peu qu'on soit versé dans la connoissance de la fusion des mines de fer, on aura remarqué en coulant des enclumes, des boulets, et à plus forte raison des canons, que la force centrifuge de la chaleur pousse à la circonférence la partie la plus massive et la plus pure de la fonte; il ne reste au centre que ce qu'il y a de plus mauvais, et souvent même il s'y forme une cavité: sur un nombre de boulets que l'on fera casser, on en trouvera plus de moitié qui auront une cavité dans le centre, et dans tous les autres une matière plus poreuse que le reste du boulet. On remarquera de plus, qu'il y a plusieurs

rayons qui tendent du centre à la circonférence, et que la matière est plus compacte et de meilleure qualité à mesure qu'elle est plus éloignée du centre. On observera encore que l'écorce du boulet, de l'enclume ou du canon, est beaucoup plus dure que l'intérieur; cette dureté plus grande provient de la trempe que l'humidité du moule donne à l'extérieur de la pièce, et elle pénètre jusqu'à trois lignes d'épaisseur dans les petites pièces, et à une ligne et demie dans les grosses. C'est en quoi consiste la plus grande force du canon : car cette couche extérieure réunit les extrémités de tous les rayons divergens dont je viens de parler, qui sont les lignes par où se feroit la rupture; elle sert de cuirasse au canon, elle en est la partie la plus pure, et, par sa grande dureté, elle contient toutes les parties intérieures qui sont plus molles, et céderoient sans cela plus aisément à la force de l'explosion. Or que fait-on lorsque l'on tourne les canons? on commence par enlever au ciseau, poussé par le marteau, toute cette surface extérieure que les couteaux du tour ne pourroient entamer; on pénètre dans l'extérieur de la pièce jusqu'au point où elle se

trouvé assez douce pour se laisser tourner, et on lui enlève en même temps, par cette opération, peut-être un quart de sa force.

Cette couche extérieure, que l'on a si grand tort d'enlever, est en même temps la cuirasse et la sauve-garde du canon; non seulement elle lui donne toute la force de résistance qu'il doit avoir, mais elle le défend encore de la rouille qui ronge en peu de temps ces canons tournés : on a beau les lustrer avec de l'huile, les peindre ou les polir; comme la matière de la surface extérieure est aussi tendre que tout le reste, la rouille y mord avec mille fois plus d'avantage que sur ceux dont la surface est garantie par la trempe. Lorsque je fus donc convaincu, par mes propres observations, du préjudice que portoit à nos canons cette mauvaise pratique, je donnai au ministre mon avis motivé, pour qu'elle fût proscrite; mais je ne crois pas qu'on ait suivi cet avis, parce qu'il s'est trouvé plusieurs personnes, très-éclairées d'ailleurs, et nommément M. de Morogues, qui ont pensé différemment. Leur opiniou, si contraire à la mienne, est fondée sur ce que la trempe rend le fer plus cassant, et

dès lors ils regardent la couche extérieure comme la plus foible et la moins résistante de toutes les parties de la pièce, et concluent qu'on ne lui fait pas grand tort de l'enlever; ils ajoutent que si l'on veut même remédier à ce tort, il n'y a qu'à donner aux canons quelques lignes d'épaisseur de plus.

J'avoue que je n'ai pu me rendre à ces raisons. Il faut distinguer dans la trempe, comme dans toute autre chose, plusieurs états et même plusieurs nuances. Le fer et l'acier chauffés à blanc et trempés subitement dans une eau très-froide, deviennent très-cassans; trempés dans une eau moins froide, ils sont beaucoup moins cassans; et dans de l'eau chaude, la trempe ne leur donne aucune fragilité sensible. J'ai sur cela des expériences qui me paroissent décisives. Pendant l'été dernier 1772, j'ai fait tremper dans l'eau de la rivière, qui étoit assez chaude pour s'y baigner, toutes les barres de fer qu'on forgeoit à un des feux de ma forge; et comparant ce fer avec celui qui n'étoit pas trempé, la différence du grain n'en étoit pas sensible, non plus que celle de leur résistance à la masse lorsqu'on les cassoit. Mais

ce même fer travaillé de la même façon par les mêmes ouvriers, et trempé cet hiver dans l'eau de la même rivière qui étoit presque glacée par-tout, est non seulement devenu fragile, mais a perdu en même temps tout son nerf, en sorte qu'on auroit cru que ce n'étoit plus le même fer. Or la trempe qui se fait à la surface du canon, n'est assurément pas une trempe à froid; elle n'est produite que par la petite humidité qui sort du moule déja bien séché: il ne faut donc pas en raisonner comme d'une autre trempe à froid, ni en conclure qu'elle rend cette couche extérieure beaucoup plus cassante qu'elle ne le seroit sans cela. Je supprime plusieurs autres raisons que je pourrois alléguer, parce que la chose me paroît assez claire.

Un autre objet, et sur lequel il n'est pas aussi aisé de prononcer affirmativement, c'est la pratique où l'on est actuellement de couler les canons plein, pour les forer ensuite avec des machines difficiles à exécuter, et encore plus difficiles à conduire, au lieu de les couler creux comme on le faisoit autrefois; et dans ce temps nos canons

crevoient moins qu'aujourd'hui. J'ai balancé les raisons pour et contre, et je vais les présenter ici. Pour couler un canon creux, il faut établir un noyau dans le moule, et le placer avec la plus grande précision, afin que le canon se trouve par-tout de l'épaisseur requise, et qu'un côté ne soit pas plus fort que l'autre: comme la matière en fusion tombe entre le noyau et le moule, elle a beaucoup moins de force centrifuge, et dès lors la qualité de la matière est moins inégale dans le canon coulé creux que dans le canon coulé plein; mais aussi cette matière, par la raison même qu'elle est moins inégale, est au total moins bonne dans le canon creux, parce que les impuretés qu'elle contient s'y trouvent mêlées par-tout, au lieu que, dans le canon coulé plein, cette mauvaise matière reste au centre et se sépare ensuite du canon par l'opération des forets. Je penserois donc, par cette première raison, que les canons forés doivent être préférés aux canons à noyau. Si l'on pouvoit cependant couler ceux-ci avec assez de précision pour n'être pas obligé de toucher à la surface intérieure; si lorsqu'on tire le noyau, cette surface se

trouvoit assez unie, assez égale dans toutes ses directions pour n'avoir pas besoin d'être calibrée, et par conséquent en partie détruite par l'instrument d'acier, ils auroient un grand avantage sur les autres, parce que, dans ce cas, la surface intérieure se trouveroit trempée comme la surface extérieure, et dès lors la résistance de la pièce se trouveroit bien plus grande. Mais notre art ne va pas jusque-là; on étoit obligé de ratisser à l'intérieur toutes les pièces coulées creux, afin de les calibrer : en les forant, on ne fait que la même chose, et on a l'avantage d'ôter toute la mauvaise matière qui se trouve autour du centre de la pièce coulée plein; matière qui reste au contraire dispersée dans toute la masse de la pièce coulée creux.

D'ailleurs les canons coulés plein sont beaucoup moins sujets aux soufflures, aux chambres, aux gerçures ou fausses soudures, etc. Pour bien couler les canons à noyau et les rendre parfaits, il faudroit des évents, au lieu que les canons pleins n'en ont aucun besoin. Comme ils ne touchent à la terre ou au sable dont leur moule est composé que par la surface extérieure; qu'il est rare, si ce

moule est bien préparé, bien séché, qu'il s'en détache quelque chose ; que, pourvu qu'on ne fasse pas tomber la fonte trop précipitamment et qu'elle soit bien liquide, elle ne retient ni les bulles de l'air ni celles des vapeurs qui s'exhalent à mesure que le moule se remplit dans toute sa capacité, il ne doit pas se trouver autant de ces défauts, à beaucoup près, dans cette matière coulée plein, que dans celle où le noyau, rendant à l'intérieur son air et son humidité, ne peut guère manquer d'occasionner des soufflures et des chambres qui se formeront d'autant plus aisément que l'épaisseur de la matière est moindre, sa qualité moins bonne, et son refroidissement plus subit. Jusqu'ici tout semble donc concourir à donner la préférence à la pratique de couler les canons plein. Néanmoins, comme il faut une moindre quantité de matière pour les canons creux, qu'il est dès lors plus aisé de l'épurer au fourneau avant de la couler, que les frais de machines à forer sont immenses en comparaison de ceux des noyaux, on feroit bien d'essayer si, par le moyen des évents que je viens de proposer, on n'arriveroit pas au point de rendre

les pièces coulées à noyau assez parfaites pour n'avoir pas à craindre les soufflures, et n'être pas obligé de leur enlever la trempe de leur surface intérieure : ils seroient alors d'une plus grande résistance que les autres, auxquels on peut d'ailleurs faire quelques reproches par les raisons que je vais exposer.

Plus la fonte du fer est épurée, plus elle est compacte, dure et difficile à forer ; les meilleurs outils d'acier ne l'entament qu'avec peine, et l'ouvrage de la forerie va d'autant moins vîte que la fonte est meilleure. Ceux qui ont introduit cette pratique ont donc, pour la commodité de leurs machines, altéré la nature de la matière *; ils ont changé l'usage où l'on étoit de faire de la fonte dure, et

* Sur la fin de l'année 1762, M. Maritz fit couler aux fourneaux de la Nouée en Bretagne, des gueuses avec les mines de la Ferrière et de Noyal ; il en examina la fonte, en dressa un procès-verbal, et sur les assurances qu'il donna aux entrepreneurs, que leur fer avoit toutes les qualités requises pour faire de bons canons, ils se déterminèrent à établir des mouleries, fonderies, décapiteries, centreries, foreries, et les tours nécessaires pour tourner extérieurement les pièces. Les entrepreneurs, après avoir formé leur établissement, ont mis les deux fourneaux

n'ont fait couler que des fontes tendres, qu'ils ont appelées *douces*, pour qu'on en sentît moins la différence. Dès lors tous nos canons

en feu le 29 janvier 1765; et le 12 février suivant, on commença à couler du canon de huit. M. Maritz s'étant rendu à la forge le 21 mars, trouva que toutes ces pièces étoient *trop dures pour souffrir le forage*, et jugea à propos de changer la matière. On coula deux pièces de douze avec un nouveau mélange, et une autre pièce de douze avec un autre mélange, et encore deux autres pièces de douze avec un troisième mélange, qui parurent *si durs sous la scie et au premier foret*, que M. Maritz jugea inutile de fondre avec ces mélanges de différentes mines, et fit un autre essai avec 11,550 livres de la mine de Noyal, 3390 livres de la mine de la Ferrière, et 3600 livres de la mine des environs, faisant en tout 18,540 livres, dont on coula le 31 mars une pièce de douze à trente charges basses. A la décapiterie, ainsi qu'en formant le support de la volée, M. Maritz jugea ce fer de bonne nature : mais *le forage de cette pièce fut difficile;* ce qui porta M. Maritz à faire une autre expérience.

Le premier et le 3 avril, il fit couler deux pièces de douze, pour chacune desquelles on porta trente-quatre charges, composées chacune de 18,700 livres de mine de Noyal, et de 2720 livres de mine des environs, en tout 21,420 livres. Ceci démontra à M. Maritz

coulés plein ont été fondus de cette matière douce, c'est-à-dire, d'une assez mauvaise fonte, et qui n'a pas, à beaucoup près, la

l'impossibilité qu'il y avoit de fondre avec de la mine de Noyal seule; car, même avec ce mélange, l'intérieur du fourneau s'embarrassa au point que le laitier ne couloit plus, et que les ouvriers avoient une peine incroyable à l'arracher du fond de l'ouvrage: d'ailleurs les deux pièces provenues de cette expérience *se trouvèrent si dures au forage*, et si profondément chambrées à 18 et 20 pouces de la volée, que quand même la mine de Noyal pourroit se fondre sans être alliée avec une espèce plus chaude, la fonte qui en proviendroit ne seroit cependant pas d'une nature *propre à couler des canons forables.*

Le 4 avril 1765, pour septième et dernière expérience, M. Maritz fit couler une neuvième pièce de douze en trente-six charges basses, et composées de 11,880 livres de mine de Noyal, de 7200 livres de mine de Phlemet, et de 2880 livres de mine des environs, en tout 21,960 livres de mine.

Après la coulée de cette dernière pièce, les ouvrages des fourneaux se trouvèrent si embarrassés, qu'on fut obligé de mettre hors, et M. Maritz congédia les fondeurs et mouleurs qu'il avoit fait venir des forges d'Angoumois.

Cette dernière pièce *se fora facilement*, en donnant une limaille de belle couleur; mais, lors du

pureté, la densité, la résistance qu'elle devroit avoir : j'en ai acquis la preuve la plus complète par les expériences que je vais rapporter.

Au commencement de l'année 1767, on m'envoya de la forge de la Nouée en Bretagne six tronçons de gros canons coulés plein, pesant ensemble 5358 livres. L'été suivant, je les fis conduire à mes forges, et en ayant cassé les tourillons, j'en trouvai la fonte d'un assez mauvais grain ; ce que l'on ne pouvoit pas reconnoître sur les tranches de ces morceaux, parce qu'ils avoient été sciés avec de l'émeril ou quelque autre matière qui remplissoit les pores extérieurs. Ayant pesé cette fonte à la

forage, il se trouva des endroits *si tendres et si peu condensés*, qu'il parut plusieurs grelots de la grosseur d'une noisette, qui ouvrirent plusieurs chambres dans l'ame de la pièce.

Je n'ai rapporté les faits contenus dans cette note que pour prouver que les auteurs de la pratique du forage des canons n'ont cherché qu'à faire couler des fontes tendres, et qu'ils ont par conséquent sacrifié la matière à la forme, en rejetant toutes les bonnes fontes que leurs forets ne pouvoient entamer aisément, tandis qu'il faut au contraire chercher la matière la plus compacte et la plus dure si l'on veut avoir des canons d'une bonne résistance.

balance hydrostatique, je trouvai qu'elle étoit trop légère, qu'elle ne pesoit que 461 livres le pied cube, tandis que celle que l'on couloit alors à mon fourneau en pesoit 504, et que quand je la veux encore épurer, elle pèse jusqu'à 520 livres le pied cube. Cette seule épreuve pouvoit me suffire pour juger de la qualité plus que médiocre de cette fonte; mais je ne m'en tins pas là. En 1770, sur la fin de l'été, je fis construire une chaufferie plus grande que mes chaufferies ordinaires, pour y faire fondre et convertir en fer ces tronçons de canons, et l'on en vint à bout à force de vent et de charbon. Je les fis couler en petites gueuses, et, après qu'elles furent refroidies, j'en examinai la couleur et le grain en les faisant casser à la masse. J'en trouvai, comme je m'y attendois, la couleur plus grise et le grain plus fin. La matière ne pouvoit manquer de s'épurer par cette seconde fusion : et en effet, l'ayant portée à la balance hydrostatique, elle se trouva peser 469 livres le pied cube; ce qui cependant n'approche pas encore de la densité requise pour une bonne fonte.

Et en effet ayant fait convertir en fer suc-

cessivement, et par mes meilleurs ouvriers, toutes les petites gueuses refondues et provenant de ces tronçons de canons, nous n'obtînmes que du fer d'une qualité très-commune, sans aucun nerf, et d'un grain assez gros, aussi différent de celui de mes forges que le fer commun l'est du bon fer.

En 1770, on m'envoya de la forge de Ruelle en Angoumois, où l'on fond actuellement la plus grande partie de nos canons, des échantillons de la fonte dont on les coule. Cette fonte a la couleur grise, le grain assez fin, et pèse 495 livres le pied cube *. Réduite en

* Ces morceaux de fonte envoyés du fourneau de Ruelle étoient de forme cubique de trois pouces, foibles dans toutes leurs dimensions. Le premier, marqué *S*, pesoit dans l'air 7 livres 2 onces 4 gros $\frac{1}{2}$, c'est-à-dire, 916 gros $\frac{1}{2}$. Le même morceau pesoit dans l'eau 6 livres 2 onces 2 gros $\frac{1}{2}$; donc le volume d'eau égal au volume de ce morceau de fonte pesoit 130 gros. L'eau dans laquelle il a été pesé, pesoit elle-même 70 livres le pied cube. Or 130 gros : 70 livres :: 916 gros $\frac{1}{2}$: 493 $\frac{3}{13}$ livres, poids du pied cube de cette fonte. Le second morceau, marqué *P*, pesoit dans l'air 7 livres 4 onces 1 gros, c'est-à-dire, 929 gros. Le même morceau pesoit dans l'eau 6 livres 3 onces 6 gros, c'est-à-dire, 798 gros; donc le volume

fer battu et forgé avec soin, j'en ai trouvé le grain semblable à celui du fer commun, et ne prenant que peu ou point de nerf, quoique travaillé en petites verges et passé sous le cylindre; en sorte que cette fonte, quoique meilleure que celle qui m'est venue des forges de la Nouée, n'est pas encore de la bonne fonte. J'ignore si, depuis ce temps, l'on ne coule pas aux fourneaux de Ruelle des fontes meilleures et plus pesantes; je sais seulement que deux officiers de marine*, très-habiles et zélés, y ont été envoyés successivement, et qu'ils sont tous deux fort en état de perfectionner l'art et de bien conduire les

d'eau égal au volume de ce morceau de fonte pesoit 131 gros. Or 131 gros : 70 livres :: 929 gros : 496 $\frac{54}{131}$ livres, poids du pied cube de cette fonte. On observera que ces morceaux qu'on avoit voulu couler sur les dimensions d'un cube de 3 pouces étoient trop foibles : ils auroient dû contenir chacun 27 pouces cubiques; et par conséquent le pied cube du premier n'auroit pesé que 458 livres 4 onces, car 27 pouces : 1728 pouces :: 916 gros $\frac{1}{2}$: 458 livres 4 onces; et le pied cube du second n'auroit pesé que 464 livres $\frac{1}{4}$, au lieu de 493 livres $\frac{3}{13}$, et de 496 livres $\frac{54}{131}$.

* MM. de Souville et de Vialis.

travaux de cette fonderie. Mais jusqu'à l'époque que je viens de citer, et qui est bien récente, je suis assuré que les fontes de nos canons coulés plein n'étoient que de médiocre qualité, qu'une pareille fonte n'a pas assez de résistance, et qu'en lui ôtant encore le lieu qui la contient, c'est-à-dire, en enlevant, par les couteaux du tour, la surface trempée, il y a tout à craindre du service de ces canons.

On ne manquera pas de dire que ce sont ici des frayeurs paniques et mal fondées, qu'on ne se sert jamais que des canons qui ont subi l'épreuve, et qu'une pièce une fois éprouvée par une moitié de plus de charge ne doit ni ne peut crever à la charge ordinaire. A ceci je réponds que non seulement cela n'est pas certain, mais encore que le contraire est beaucoup plus probable. En général, l'épreuve des canons par la poudre est peut-être la plus mauvaise méthode que l'on pût employer pour s'assurer de leur résistance. Le canon ne peut subir le trop violent effort des épreuves qu'en y cédant, autant que la cohérence de la matière le permet, sans se rompre; et comme il s'en faut bien que cette

matière de la fonte soit à ressort parfait, les parties séparées par le trop grand effort ne peuvent se rapprocher ni se rétablir comme elles étoient d'abord. Cette cohésion des parties intégrantes de la fonte étant donc fort diminuée par le grand effort des épreuves, il n'est pas étonnant que le canon crève ensuite à la charge ordinaire; c'est un effet très-simple qui dérive d'une cause tout aussi simple. Si le premier coup d'épreuve écarte les parties d'une moitié ou d'un tiers de plus que le coup ordinaire, elles se rétabliront, se réuniront moins dans la même proportion; car, quoique leur cohérence n'ait pas été détruite, puisque la pièce a résisté, il n'en est pas moins vrai que cette cohérence n'est pas si grande qu'elle étoit auparavant, et qu'elle a diminué dans la même raison que diminue la force d'un ressort imparfait : dès lors un second ou un troisième coup d'épreuve fera éclater les pièces qui auront résisté au premier, et celles qui auront subi les trois épreuves sans se rompre, ne sont guère plus sûres que les autres; après avoir subi trois fois le même mal, c'est-à-dire, le trop grand écartement de leurs parties intégrantes, elles

en sont nécessairement devenues bien plus foibles, et pourront par conséquent céder à l'effort de la charge ordinaire.

Un moyen bien plus sûr, bien simple, et mille fois moins coûteux, pour s'assurer de la résistance des canons, seroit d'en faire peser la fonte à la balance hydrostatique : en coulant le canon, l'on mettroit à part un morceau de la fonte ; lorsqu'il seroit refroidi, on le peseroit dans l'air et dans l'eau ; et si la fonte ne pesoit pas au moins 520 livres le pied cube, on rebuteroit la pièce comme non recevable : l'on épargneroit la poudre, la peine des hommes, et on banniroit la crainte très-bien fondée de voir crever les pièces souvent après l'épreuve. Étant une fois sûr de la densité de la matière, on seroit également assuré de sa résistance ; et si nos canons étoient faits avec de la fonte pesant 520 livres le pied cube, et qu'on ne s'avisât pas de les tourner ni de toucher à leur surface extérieure, j'ose assurer qu'ils résisteroient et dureroient autant qu'on doit se le promettre. J'avoue que, par ce moyen, peut-être trop simple pour être adopté, on ne peut pas savoir si la pièce est saine, s'il n'y a pas

dans l'intérieur de la matière des défauts, des soufflures, des cavités; mais connoissant une fois la bonté de la fonte, il suffiroit, pour s'assurer du reste, de faire éprouver une seule fois, et à la charge ordinaire, les canons nouvellement fondus, et l'on seroit beaucoup plus sûr de leur résistance que de celle de ceux qui ont subi des épreuves violentes.

Plusieurs personnes ont donné des projets pour faire de meilleurs canons: les uns ont proposé de les doubler de cuivre, d'autres de fer battu, d'autres de souder ce fer battu avec la fonte. Tout cela peut être bon à certains égards; et dans un art dont l'objet est aussi important, et la pratique aussi difficile, les efforts doivent être accueillis, et les moindres découvertes récompensées. Je ne ferai point ici d'observations sur les canons de M. Feutry, qui ne laissent pas de demander beaucoup d'art dans leur exécution; je ne parlerai pas non plus des autres tentatives, à l'exception de celle de M. de Souville, qui m'a paru la plus ingénieuse, et qu'il a bien voulu me communiquer par sa lettre datée d'Angoulême le 6 avril 1771, dont je donne ici

l'extrait * : mais je dirai seulement que la soudure du cuivre avec le fer rend celui-ci beaucoup plus aigre; que quand on soude de la fonte avec elle-même par le moyen du soufre, on la change de nature, et que la ligne de jonction des deux parties soudées n'est plus de la fonte de fer, mais de la pyrite

* « Les canons fabriqués avec des spirales ont « opposé la plus grande résistance à la plus forte « charge de poudre, et à la manière la plus dan- « gereuse de les charger. Il ne manque à cette mé- « thode, pour être bonne, que d'empêcher qu'il ne « se forme des chambres dans ces bouches à feu; « cet inconvénient, il est vrai, m'obligeroit à l'aban- « donner si je n'y parvenois: mais pourquoi ne pas « le tenter? Beaucoup de personnes ont proposé « de faire des canons avec des doublures ou des « enveloppes de fer forgé; mais ces doublures et ces « enveloppes ont toujours été un assemblage de « barres inflexibles que leur forme, leur position et « leur roideur rendent inutiles. La spirale n'a pas « les mêmes défauts; elle se prête à toutes les formes « que prend la matière; elle s'affaisse avec elle dans « le moule : son fer ne perd ni sa ductilité ni son « ressort; dans la commotion du *tir*, l'effort est « distribué sur toute son étendue. Elle enveloppe « presque toute l'épaisseur du canon, et dès lors « s'oppose à sa rupture avec une résistance de près

très-cassante ; et qu'en général le soufre est un intermède qu'on ne doit jamais employer lorsqu'on veut souder du fer sans en altérer la qualité : je ne donne ceci que pour avis à ceux qui pourroient prendre cette voie comme la plus sûre et la plus aisée, pour rendre le fer fusible et en faire de grosses pièces.

Si l'on conserve l'usage de forer les canons,

« de 30,000 livres de force. Si la fonte éprouve une « plus grande dilatation que le fer, elle résiste avec « toute cette force ; si cette dilatation est moindre, « la spirale ne reçoit que le mouvement qui lui est « communiqué. Ainsi, dans l'un et l'autre cas, l'effet « est le même. L'assemblage des barres, au con- « traire, ne résiste que par les cercles qui les con- « tiennent. Lorsqu'on en a revêtu l'ame des canons, « on n'a pas augmenté la résistance de la fonte : sa « tendance à se rompre a été la même ; et lorsqu'on « a enveloppé son épaisseur, les cercles n'ont pu « soutenir également l'effort qui se partage sur tout « le développement de la spirale. Les barres d'ail- « leurs s'opposent aux vibrations des cercles. La « spirale que j'ai mise dans un canon de six, foré « et éprouvé au calibre de douze, ne pesoit que 83 « livres ; elle avoit 2 pouces de largeur et 4 lignes « d'épaisseur. La distance d'une hélice à l'autre « étoit aussi de 2 pouces ; elle étoit roulée à chaud « sur un mandrin de fer. »

et qu'on les coule de bonne fonte dure, il faudra en revenir aux machines à forer de M. le marquis de Montalembert, celles de M. Maritz n'étant bonnes que pour le bronze ou la fonte de fer tendre. M. de Montalembert est encore un des hommes de France qui entend le mieux cet art de la fonderie des canons, et j'ai toujours gémi que son zèle, éclairé de toutes les connoissances nécessaires en ce genre, n'ait abouti qu'au détriment de sa fortune. Comme je vis éloigné de lui, j'écris ce Mémoire sans le lui communiquer : mais je serai plus flatté de son approbation que de celle de qui que ce soit; car je ne connois personne qui entende mieux ce dont il est ici question. Si l'on mettoit en masse, dans ce royaume, les trésors de lumière que l'on jette à l'écart, ou qu'on a l'air de dédaigner, nous serions bientôt la nation la plus florissante et le peuple le plus riche. Par exemple, il est le premier qui ait conseillé de reconnoître la résistance de la fonte par sa pesanteur spécifique; il a aussi cherché à perfectionner l'art de la moulerie en sable des canons de fonte de fer, et cet art est perdu depuis qu'on a imaginé de les tour-

ner. Avec les moules en terre dont on se servoit auparavant, la surface des canons étoit toujours chargée d'aspérités et de rugosités ; M. de Montalembert avoit trouvé le moyen de faire des moules en sable qui donnoient à la surface du canon tout le lisse et même le luisant qu'on pouvoit desirer. Ceux qui connoissent les arts en grand sentiront bien les difficultés qu'il a fallu surmonter pour en venir à bout, et les peines qu'il a fallu prendre pour former des ouvriers capables d'exécuter ces moules, auxquels ayant substitué le mauvais usage du tour, on a perdu un art excellent pour adopter une pratique funeste *.

* L'outil à langue de carpe perce la fonte de fer avec une vîtesse presque double de celle de l'outil à cylindre. Il n'est point nécessaire, avec ce premier outil, de seringuer de l'eau dans la pièce, comme il est d'usage de le faire en employant le second, qui s'échauffe beaucoup par son frottement très-considérable. L'outil à cylindre seroit détrempé en peu de temps sans cette précaution : elle est même souvent insuffisante ; dès que la fonte se trouve plus compacte et plus dure, cet outil ne peut la forer. La limaille sort naturellement avec l'outil à langue de carpe, tandis qu'avec l'outil à cylindre il faut

Une attention très-nécessaire lorsque l'on coule du canon, c'est d'empêcher les écumes qui surmontent la fonte de tomber avec elle dans le moule. Plus la fonte est légère, et plus elle fait d'écumes; et l'on pourroit juger, à l'inspection même de la coulée, si la fonte est de bonne qualité : car alors sa

employer continuellement un crochet pour la tirer; ce qui ne peut se faire assez exactement pour qu'il n'en reste pas entre l'outil et la pièce, ce qui la gêne et augmente encore son frottement.

Il faudroit s'attacher à perfectionner la moulerie. Cette opération est difficile, mais elle n'est pas impossible à quelqu'un d'intelligent. Plusieurs choses sont absolument nécessaires pour y réussir : 1°. des mouleries plus étendues, pour pouvoir y placer plus de chantiers et y faire plus de moules à la fois, afin qu'ils pussent sécher plus lentement; 2°. une grande fosse pour les recuire debout, ainsi que cela se pratique pour les canons de cuivre, afin d'éviter que le moule ne soit arqué, et par conséquent le canon; 3°. un petit chariot à quatre roues fort basses avec des montans assez élevés pour y suspendre le moule recuit, et le transporter de la moulerie à la cuve du fourneau, comme on transporte un lustre; 4°. un juste mélange d'une terre grasse et d'une terre sableuse, tel qu'il le faut pour qu'au recuit le moule ne se fende pas de mille et mille fentes qui rendent

surface est lisse et ne porte point d'écume. Mais, dans tous ces cas, il faut avoir soin de comprimer la matière coulante par plusieurs torches de paille placées dans les coulées. Avec cette précaution, il ne passe que peu d'écumes dans le moule; et si la fonte

le canon défectueux, et sur-tout pour que cette terre, avec cette qualité de ne pas se fendre, puisse conserver l'avantage de *s'écaler*, c'est-à-dire, de se détacher du canon quand on vient à le nettoyer. Plus la terre est grasse, mieux elle *s'écale*, et plus elle se fend; plus elle est maigre ou sableuse, moins elle se fend, mais moins elle *s'écale*. Il y a des moules de cette terre qui se tiennent si fort attachés au canon, qu'on ne peut, avec le marteau et le ciseau, en emporter que la plus grosse partie; ces sortes de canons restent encore plus vilains que ceux cicatrisés par les fentes innombrables des moules de terre grasse. Ce mélange de terre est donc très-difficile; il demande beaucoup d'attention, d'expérience: et, ce qu'il y a de fâcheux, c'est que les expériences dans ce genre, faites pour les petits calibres, ne concluent rien pour les gros. Il n'est jamais difficile de faire écaler de petits canons avec un mélange sableux. Mais ce même mélange ne peut plus être employé dès que les calibres passent celui de douze; pour ceux de trente-six sur-tout, il est très-difficile d'attraper le point du mélange.

étoit dense et compacte, il n'y en auroit point du tout. La bourre de la fonte ne vient ordinairement que de ce qu'elle est trop crue et trop précipitamment fondue. D'ailleurs la matière la plus pesante sort la première du fourneau; la plus légère vient la dernière : la culasse du canon est, par cette raison, toujours d'une meilleure matière que les parties supérieures de la pièce; mais il n'y aura jamais de bourre dans le canon si, d'une part, on arrête les écumes par les torches de paille, et qu'en même temps on lui donne une forte masselotte de matière excédante, dont il est même aussi nécessaire qu'utile qu'il reste encore, après la coulée, trois ou quatre quintaux en fusion dans le creuset : cette fonte qui reste y entretient la chaleur; et, comme elle est encore mêlée d'une assez grande quantité de laitier, elle conserve le fond du fourneau, et empêche la mine fondante de brûler en s'y attachant.

Il me paroît qu'en France on a souvent fondu les canons avec des mines en roche, qui toutes contiennent une plus ou moins grande quantité de soufre; et comme l'on n'est pas dans l'usage de les griller dans nos

provinces où le bois est cher, ainsi qu'il se pratique dans les pays du Nord où le bois est commun, je présume que la qualité cassante de la fonte de nos canons de la marine pourroit aussi provenir de ce soufre qu'on n'a pas soin d'enlever à la mine avant de la jeter au fourneau de fusion. Les fonderies de Ruelle en Angoumois, de Saint-Gervais en Dauphiné, et de Baigorry dans la basse Navarre, sont les seules dont j'aie connoissance, avec celle de la Nouée en Bretagne, dont j'ai parlé, et où je crois que le travail est cessé : dans toutes quatre, je crois qu'on ne s'est servi et qu'on ne se sert encore que de mines en roche, et je n'ai pas ouï dire qu'on les grillât ailleurs qu'à Saint-Gervais et à Baigorry. J'ai tâché de me procurer des échantillons de chacune de ces mines, et, au défaut d'une assez grande quantité de ces échantillons, tous les renseignemens que j'ai pu obtenir par la voie de quelques amis intelligens. Voici ce que m'a écrit M. de Morogues au sujet des mines qu'on emploie à Ruelle :

« La première est dure, compacte, pesante, « faisant feu avec l'acier, de couleur rouge-« brun, formée par deux couches d'inégale

« épaisseur, dont l'une est spongieuse, par-« semée de trous ou cavités, d'un velouté « violet foncé, et quelquefois d'un bleu in-« digo à sa cassure, ayant des mamelons, tei-« gnant en rouge de sanguine; caractères qui « peuvent la faire ranger dans la septième « classe de l'art des forges, comme une espèce « de pierre hématite : mais elle est riche et « douce.

« La seconde ressemble assez à la précédente « pour la pesanteur, la dureté et la couleur; « mais elle est un peu *salardée* (on appelle « *salard* ou mine salardée celle qui a des « grains de sable clair, et qui est mêlée de « sable gris-blanc, de caillou et de fer). Elle « est riche en métal; employée avec de la « mine très-douce, elle se fond très-facile-« ment : son tissu à sa cassure est strié et « parsemé quelquefois de cavités d'un brun « noir. Elle paroît de la sixième espèce de la « mine rougeâtre dans l'art des forges.

« La troisième, qu'on nomme dans le pays « *glacieuse*, parce qu'elle a ordinairement « quelques unes de ses faces lisses et douces « au toucher, n'est ni fort pesante ni fort « riche; elle a communément quelques petits

« points noirs et luisans, d'un grain semblable « au maroquin. Sa couleur est variée ; elle a « du rouge assez vif, du brun, du jaune, « un peu de verd, et quelques cavités. Elle « paroît, à cause de ses faces unies et lui- « santes, avoir quelque rapport à la mine « spéculaire de la huitième espèce.

« La quatrième, qui fournit d'excellent fer, « mais en petite quantité, est légère, spon- « gieuse, assez tendre, d'une couleur brune « presque noire, ayant quelques mamelons, « et sablonneuse : elle paroît être une sorte « de mine limoneuse de la onzième espèce.

« La cinquième est une mine salardée, fai- « sant beaucoup de feu avec l'acier, dure, « compacte, pesante, parsemée à la cassure « de petits points brillans, qui ne sont que « du sable de couleur de lie de vin. Cette « mine est difficile à fondre : la qualité de « son fer passe pour n'être pas mauvaise ; « mais elle en produit peu. Les ouvriers pré- « tendent qu'il n'y a pas moyen de la fondre « seule, et que l'abondance des crasses qui « s'en séparent, l'agglutine à l'ouvrage du « fourneau. Cette mine ne paroît pas avoir « de ressemblance bien caractérisée avec celle « dont Swedenborg a parlé.

« On emploie encore un grand nombre « d'autres espèces de mines; mais elles ne « diffèrent des précédentes que par moins de « qualité, à l'exception d'une espèce d'ocre « martiale, qui peut fournir ici une sixième « classe. Cette mine est assez abondante dans « les minières : elle est aisée à tirer; on l'en- « lève comme la terre. Elle est jaune, et « quelquefois mêlée de petites grenailles; « elle fournit peu de fer : elle est très-douce. « On peut la ranger dans la douzième espèce « de l'art des forges.

« La gangue de toutes les mines du pays « est une terre vitrifiable, rarement argil- « leuse. Toutes ces espèces de mines sont mê- « lées, et le terrain dont on les tire est pres- « que tout sableux.

« On appelle *schiffre* en Angoumois un « caillou assez semblable aux pierres à feu, « et qui en donne beaucoup quand on le « frappe avec l'acier. Il est d'un jaune clair, « fort dur : il tient quelquefois à des matières « qui peuvent avoir du fer; mais ce n'est « point le schiste.

« La castine est une vraie pierre calcaire « assez pure, si l'on en peut juger par l'uni-

« formité de sa cassure et de sa couleur, qui « est gris-blanc ; elle est pesante, assez dure » « et prend un poli fort doux au toucher. »

Par ce récit de M. de Morogues, il me semble qu'il n'y a que la sixième espèce qui ne demande pas à être grillée, mais seulement bien lavée, avant de la jeter au fourneau.

Au reste, quoique, généralement parlant, et comme je l'ai dit, les mines en roche, et qui se trouvent en grandes masses solides, doivent leur origine à l'élément du feu, néanmoins il se trouve aussi plusieurs mines de fer en assez grosses masses, qui se sont formées par le mouvement et l'intermède de l'eau. On distinguera, par l'épreuve de l'aimant, celles qui ont subi l'action du feu, car elles seront toujours magnétiques ; au lieu que celles qui ont été produites par la stillation des eaux ne le sont point du tout, et ne le deviendront qu'après avoir été bien grillées et presque liquéfiées. Ces mines en roche qui ne sont point attirables par l'aimant, ne contiennent pas plus de soufre que nos mines en grains : l'opération de les griller, qui est très-coûteuse, doit dès lors être supprimée, à moins qu'elle ne soit nécessaire

pour attendrir ces pierres de fer assez pour qu'on puisse les concasser sous les pilons du bocard.

J'ai tâché de présenter dans ce Mémoire tout ce que j'ai cru qui pourroit être utile à l'amélioration des canons de notre marine; je sens en même temps qu'il reste beaucoup de choses à faire, sur-tout pour se procurer dans chaque fonderie une fonte pure et assez compacte pour avoir une résistance supérieure à toute explosion. Cependant je ne crois point du tout que cela soit impossible, et je pense qu'en purifiant la fonte de fer autant qu'elle peut l'être, on arriveroit au point que la pièce ne feroit que se fendre au lieu d'éclater par une trop forte charge. Si l'on obtenoit une fois ce but, il ne nous resteroit plus rien à craindre ni rien à desirer à cet égard.

Fin du tome sixième.

Planche II.

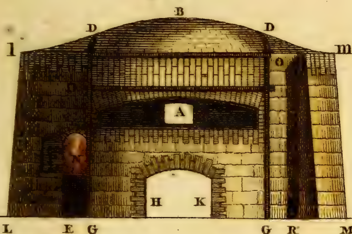
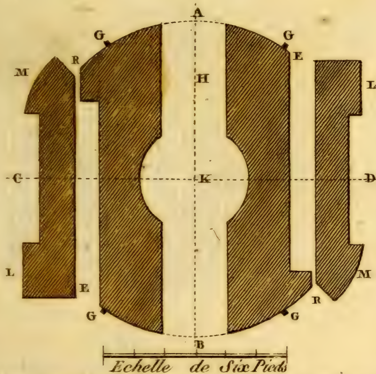


Planche I.





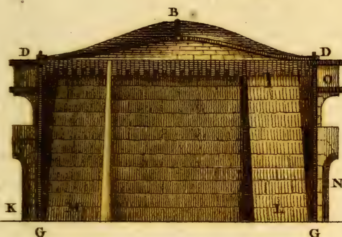
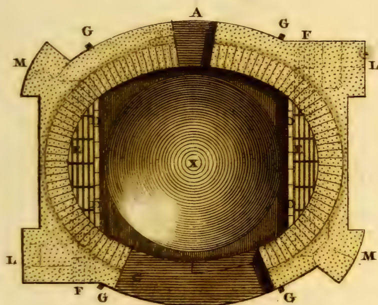
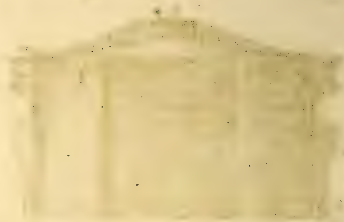


Planche IV.



Echelle de Six Pieds

Gaitte S.





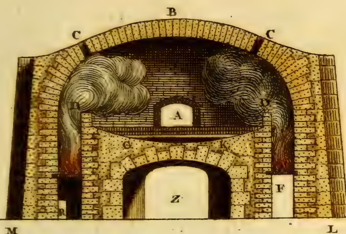
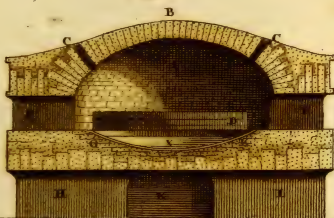


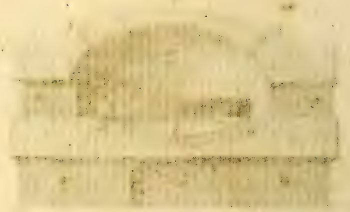
Planche VI.

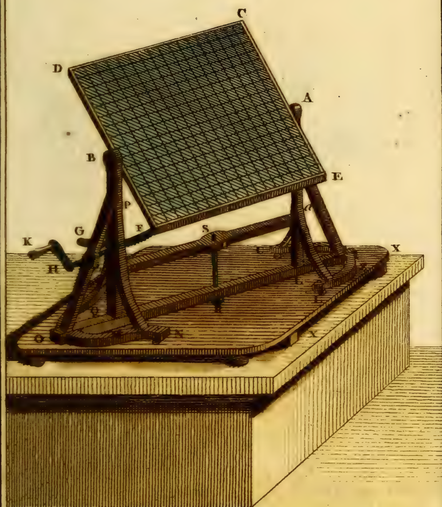


Echelle de Six Pieds

Gaitte S.







Gaitte S.



Fig 2.

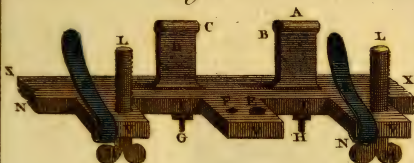


Fig 4.

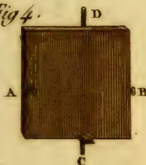
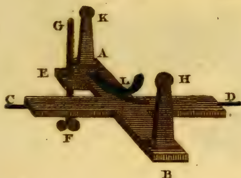


Fig 3.





Gaitte. S.

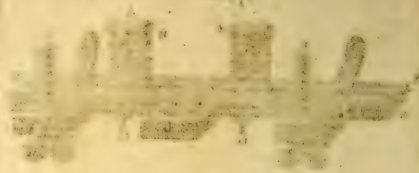
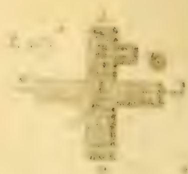
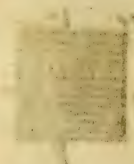





Fig 6.

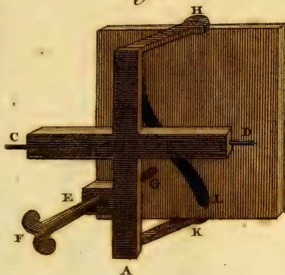
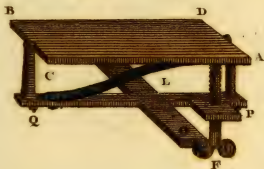
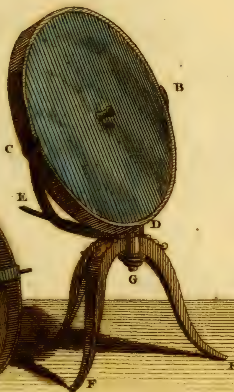


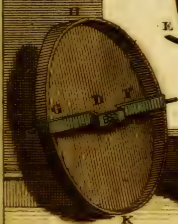
Fig 7.



Gaitte S.

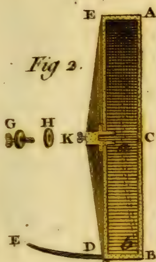


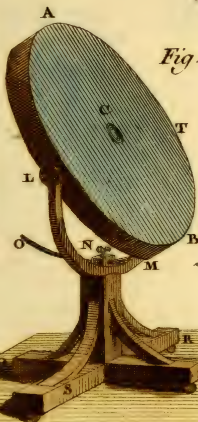




Gaitte S.





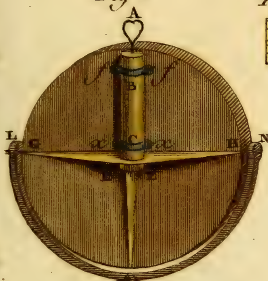


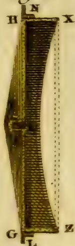
Gaitte S.

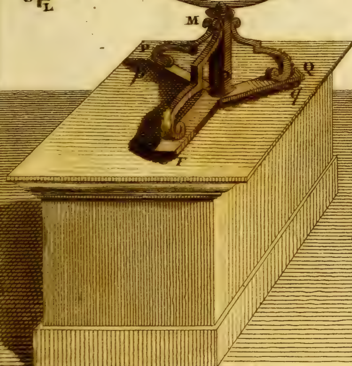






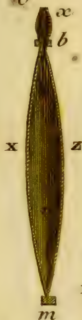




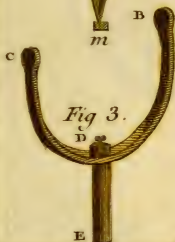


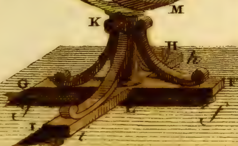
Gaitte S.









Gaitte S

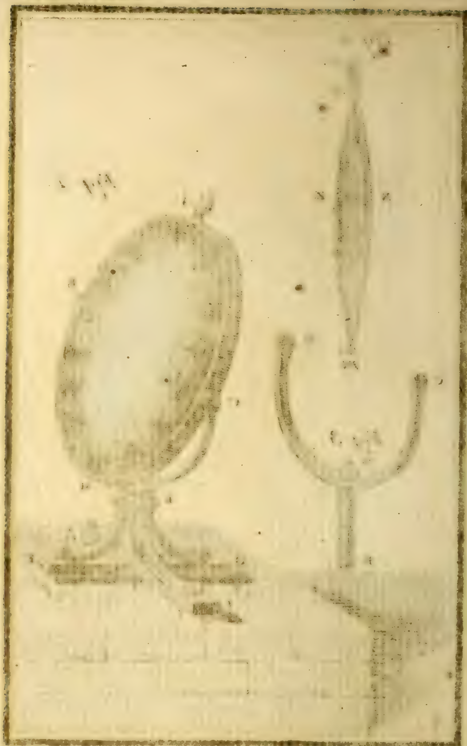
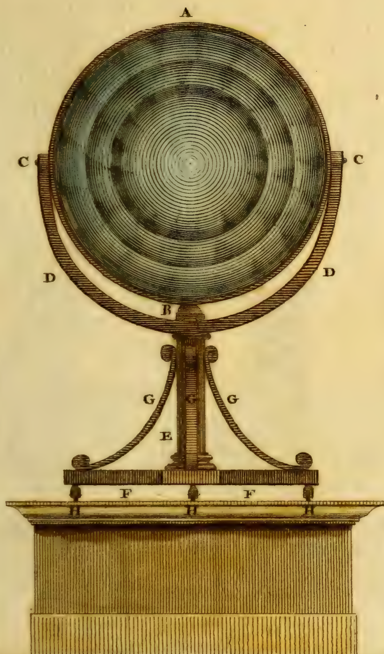
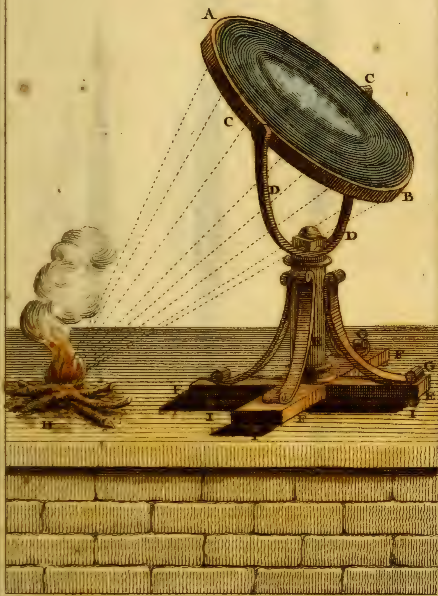


Planche XIV.



Gaitte S.



Gaitte S



Planche XVI.

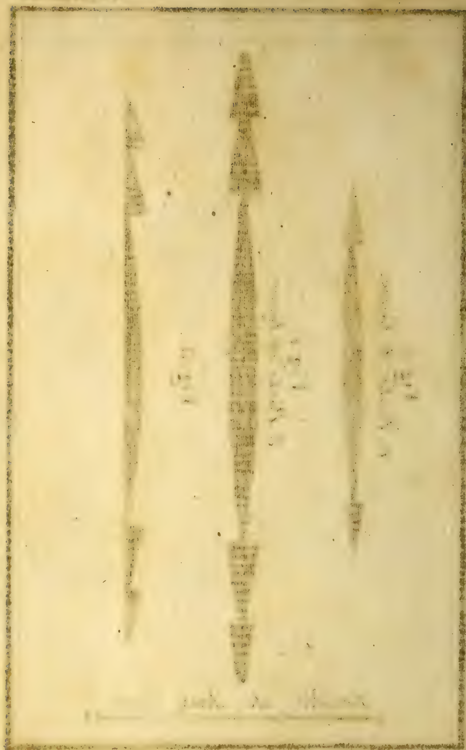








Gaitte S.



TABLE

Des articles contenus dans ce volume.

INTRODUCTION A L'HIST. DES MINÉRAUX.

Partie expérimentale.

Article II. Réflexions sur le jugement de Descartes au sujet des miroirs d'Archimède, avec le développement de la théorie de ces miroirs, et l'explication de leurs principaux usages, *page* 1.

Article III. Invention d'autres miroirs pour brûler à de moindres distances, 81.

I. Miroirs d'une seule pièce à foyer mobile, *ibid.*

II. Miroirs d'une seule pièce pour brûler très-vivement à des distances médiocres et à de petites distances, 85.

III. Lentilles ou miroirs à l'eau, 91.

IV. Lentilles de verre solide, 100.

V. Lentilles à échelons pour brûler avec la plus grande vivacité possible, 108.

Explication des figures qui représentent le fourneau

dans lequel j'ai fait courber des glaces pour faire les miroirs ardens de différentes espèces, 111.

Septième Mémoire. Observations sur les couleurs accidentelles et sur les ombres colorées, 128.

Huitième Mémoire. Expériences sur la pesanteur du feu, et sur la durée de l'incandescence, 159.

Neuvième Mémoire. Expériences sur la fusion des mines de fer, 207.

Dixième Mémoire. Observations et expériences faites dans la vue d'améliorer les canons de la marine, 268.

DE L'IMPRIMERIE DE PLASSAN.

